ENTREGABLE
PROYECTOS—
2023-2024

Investigación en sistemas de conversión de lenguaje natural para la programación de robots en tareas colaborativas
"NATURBOT"

Entregable: E5.1. Sistema de descripción del contexto

Programa: Proyectos de I+D en colaboración con empresas
Número de proyecto: 22300046
Expediente: IMDEEA/2023/13
Duración: 16 meses
Coordinado en AIDIMME por: José Luís Sánchez

GENERALITAT VALENCIANA
IVACE+i INSTITUTO VALENCIANO DE COMPETITIVIDAD E INNOVACIÓN
Financiado por la Unión Europea

AIDIMME
INSTITUTO TECNOLÓGICO

ÍNDICE

1 Introducción y objetivos del entregable _____ 1

1.1 Objeto del entregable _____ 1

1.2 Objetivos del proyecto con los que se relaciona _____ 1

1.3 Paquete de trabajo en el que está encuadrado y principales tareas a desarrollar _ 1

1.4 Resumen del trabajo realizado _____ 1

2 Actividades realizadas _____ 3

2.1 Tarea 5.1 Análisis de escenarios en la interacción humano-robot _____ 3

2.2 Tarea 5.2 Investigación sobre metodologías de reproducción de escenarios _____ 6

2.2.1 Sistemas para el reconocimiento de humanos _____ 6
2.2.2 Sistemas para el reconocimiento de objetos _____ 7
2.2.3 Escenarios de interacción humano-robot _____ 7

2.3 Tarea 5.3 Generación de algoritmos y desarrollo del sistema de transferencia de posiciones _____ 10

2.3.1 Preparación previa _____ 10
2.3.2 Máscara de filtrado de color _____ 13
2.3.3 Cierre morfológico _____ 14
2.3.4 Identificación de pieza _____ 16
2.3.5 Desarrollo del sistema de referencia _____ 18
2.3.6 Aplicación de sistemas de referencia a escenarios de trabajo _____ 21

2.4 Tarea 5.4 Desarrollo de pruebas _____ 21

3 Resultados obtenidos _____ 23

4 Conclusiones _____ 27

5 Anexos y bibliografía _____ 28

1 Introducción y objetivos del entregable

1.1 Objeto del entregable

El presente entregable recoge toda la documentación asociada al sistema de descripción del contexto. Se trata de un sistema de identificación visual del escenario donde se desarrolla la tarea colaborativa, estableciendo el sistema de transferencia de posiciones de los diversos elementos al control del robot

El desarrollo de este sistema es un resultado del proyecto que permite avanzar en los métodos de interacción humano-robot y genera un componente de un sistema final que debe de integrar, además, un sistema de reconocimiento e interpretación del lenguaje natural (PT4) y un sistema de comunicación de comandos en un lenguaje interpretable por un robot (paquete de trabajo PT6).

1.2 Objetivos del proyecto con los que se relaciona

Este documento se relaciona con uno de los objetivos específicos identificados en la memoria de solicitud del proyecto:
- Desarrollo de una aplicación de reconocimiento de imágenes (subsistema de reconocimiento del entorno), que permita reconocer el entorno de trabajo. Este entorno de trabajo se utilizará para experimentación, por lo que estará compuesto por diversos planos de trabajo, objetos y componentes empleados en operaciones manuales de manufactura y objetos diversos de prueba.

1.3 Paquete de trabajo en el que está encuadrado y principales tareas a desarrollar

El entregable se encuadra en el paquete de trabajo PT5 (Desarrollo del sistema de descripción del contexto), donde se llevan a cabo las siguientes tareas:
- Tarea 5.1 Análisis de escenarios en la interacción humano-robot
- Tarea 5.2 Investigación sobre metodologías de reproducción de escenarios
- Tarea 5.3 Generación de algoritmos y desarrollo del sistema de transferencia de posiciones
- Tarea 5.4 Desarrollo de pruebas

1.4 Resumen del trabajo realizado

En primer lugar, se han estudiado posibles escenarios en la interacción humano-robot, con especial énfasis en identificar el grado de interacción, si se comparte el espacio físico entre el humano y el robot, así como si se realizan las tareas al mismo tiempo.

En segundo lugar, se ha llevado a cabo una investigación sobre metodologías de reproducción de escenarios, identificando tanto sistemas para reconocer y capturar información de la tarea que realiza el humano, como para el reconocimiento de objetos (piezas o herramientas). A continuación, se han definido los posibles escenarios de interacción humano-robot sobre los que se centran los desarrollos del proyecto.

AIDIMME INSTITUTO TECNOLÓGICO
GENERALITAT VALENCIANA
IVACE+i INSTITUTO VALENCIANO DE COMPETITIVIDAD E INNOVACIÓN
Financiado por la Unión Europea

El siguiente paso ha sido desarrollar un sistema de visión artificial que permite reconocer e identificar la forma geométrica de la pieza, el color de esta, su ubicación dentro del espacio de la imagen tomada, así como la rotación dentro del plano de la imagen.

A continuación, se ha desarrollado un método de calibración y transformación de coordenadas que permite obtener las coordenadas “x,y” y la rotación de las piezas en el mismo sistema de coordenadas que utilice el robot.

Finalmente, se han llevado a cabo pruebas preliminares de funcionamiento con varias piezas con el objetivo de validar el funcionamiento del sistema.

AIDIMME INSTITUTO TECNOLÓGICO
GENERALITAT VALENCIANA
IVACE+i INSTITUTO VALENCIANO DE COMPETITIVIDAD E INNOVACIÓN
Financiado por la Unión Europea

2 Actividades realizadas

2.1 Tarea 5.1 Análisis de escenarios en la interacción humano-robot

Atendiendo a la Guía "Robots industriales y cobots en prevención de riesgos laborales" (Valenciana, 2019), editada por la Generalitat Valenciana los robots colaborativos son robots industriales diseñados para interaccionar directamente con un humano dentro de un espacio de trabajo cooperativo, sin que sea necesaria la existencia de un espacio de seguridad aislado, como en un robot convencional.

En las operaciones que implican la utilización de este tipo de robots pueden existir diferentes grados de interacción humano-robot, según los parámetros de tiempo y espacio (Valenciana, 2019):

- Cooperación (Colaboración indirecta): ambos comparten el mismo espacio de trabajo, pero en tiempos diferentes (ej. alternancia de trabajos sobre misma pieza)

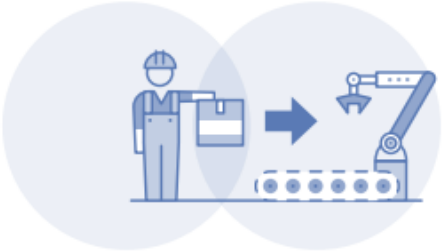

Figura 1:Cooperación
Fuente: (Valenciana, 2019)

- Coexistencia: ambos traban al mismo tiempo, pero en espacios diferentes (ej. trabajo en diferentes piezas y zonas).

Figura 2:Cooexistencia
Fuente: (Valenciana, 2019)

- Colaboración directa: ambos comparten el mismo espacio de trabajo al mismo tiempo (ej. trabajo simultáneo sobre misma pieza).

AIDIMME INSTITUTO TECNOLÓGICO
GENERALITAT VALENCIANA
IVACE+i INSTITUTO VALENCIANO DE COMPETITIVIDAD E INNOVACIÓN
Financiado por la Unión Europea

Figura 3:Colaboración directa
Fuente: (Valenciana, 2019)

Para abordar los aspectos de seguridad de robots colaborativos hay que considerar la norma ISO/TS 15066: Se trata de una especificación técnica con directrices adicionales que ayudan al integrador a evaluar y adecuar medidas para el uso de robots colaborativos

Las aplicaciones colaborativas son diferentes a las de los sistemas robóticos tradicionales, ya que las personas pueden trabajar próximos al sistema robot cuando está en funcionamiento y se permite el contacto físico humano-robot bajo ciertas condiciones, sin necesidad de aislar el robot mediante resguardos o vallas.

Grado de Interacción	Comparten Espacio Físico	Realizan Tareas al Mismo Tiempo	Ejemplo	Programación del Robot	Parámetros del Programa del Robot que podrían Cambiar
Colaboración física directa	Sí	Sí	Un operario y un robot ensamblan componentes en una línea de producción.	Fija	N/A
Colaboración física indirecta	Sí	No	Un operario carga y descarga piezas mientras un robot realiza operaciones de mecanizado.	Requiere instrucciones	Velocidad de mecanizado, herramientas utilizadas
Colaboración temporal	Sí	No	Un robot y un operario trabajan en turnos alternados en una tarea de fabricación.	Requiere instrucciones	Secuencia de cambio entre tareas, ajuste de parámetros
Colaboración de supervisión y asistencia	Sí	Sí	Un operario supervisa y asiste a un robot que realiza operaciones de pintura en una pieza.	Fija	N/A
Colaboración independiente	No	No	Varios robots trabajan en células de fabricación separadas dentro de una planta automatizada.	Fija	N/A
Colaboración en espacios de trabajo separados	No	Sí	Un operario realiza la inspección final de productos mientras varios robots ensamblan componentes en líneas de producción separadas.	Requiere instrucciones	Parámetros de inspección, criterios de calidad

AIDIMME INSTITUTO TECNOLÓGICO · GENERALITAT VALENCIANA · IVACE+i INSTITUTO VALENCIANO DE COMPETITIVIDAD E INNOVACIÓN · Financiado por la Unión Europea

En colaboración con las empresas participantes en el proyecto se han revisado y analizado diferentes tareas con utilización de robótica colaborativa donde los desarrollos del proyecto tuvieran mayor aplicación. Finalmente se valoraron diversas opciones en una escala Likert 1-5, donde el 5 es la puntuación máxima y 1 la puntuación mínima.

Cuestión T5.1	HURTADO R.	CFZ	DYMSA
Selección y montaje de componentes	5	5	5
Inspección de piezas	5	5	5
Alimentación de piezas a diferentes líneas	5	5	5
Paletizado	1	4	5
Lijado de piezas	2	4	3
Soldadura	3	4	3
Barnizado	1	5	3

Figura 4:Valoración de las empresas
Fuente: elaboración propia

Las tareas donde se considera que los resultados de NATURBOT mejoran una aplicación de robótica colaborativa son: “Selección y montaje de componentes”, “Inspección de piezas”, y “Alimentación de piezas a diferentes líneas”.

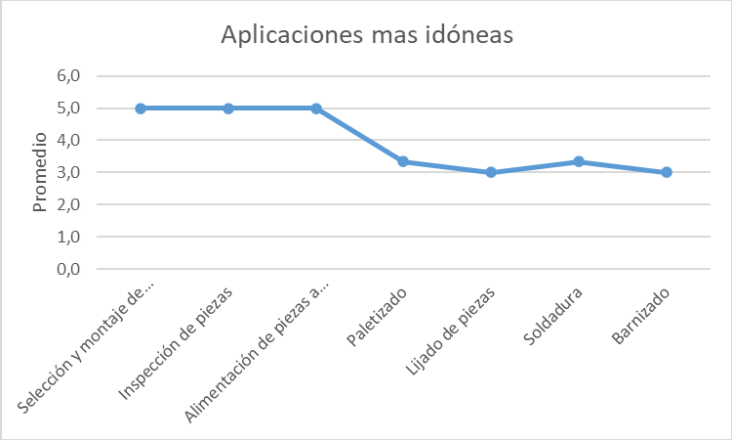

Figura 5:Promedio de valoración de las empresas
Fuente: elaboración propia

Estas aplicaciones se corresponden con actividades donde el tipo de colaboración es “físico indirecta” o “temporal”. Es decir, robot y humano comparten el mismo espacio de trabajo, pero no al mismo tiempo.

AIDIMME INSTITUTO TECNOLÓGICO
GENERALITAT VALENCIANA
IVACE+i INSTITUTO VALENCIANO DE COMPETITIVIDAD E INNOVACIÓN
Financiado por la Unión Europea

2.2 Tarea 5.2 Investigación sobre metodologías de reproducción de escenarios

2.2.1 Sistemas para el reconocimiento de humanos

A la hora de definir métodos y sistemas para el reconocimiento de la actividad de un humano en una tarea colaborativa con un robot, se pueden identificar diferentes enfoques en función del objetivo de la captura de datos.

Si lo que se pretende es realizar un reconocimiento de los gestos del humano pueden emplearse sensores de movimiento inercial (IMU), cámaras de profundidad, sistemas de captura de movimiento (tipo Optitrack) o sistemas basados en cámaras convencionales combinados con software de tratamiento de imágenes.

Si el objetivo es detectar presencia o proximidad del humano, se pueden emplear sensores de infrarrojos o ultrasonido. Si lo que se requiere es medir la fuerza ejercida por el humano se dispone de sensores de fuerza resistivos.

Finalmente, si lo que se busca es capturar información e interactuar se puede utilizar tecnología de realidad virtual o aumentada (RV / RA), existiendo diferentes opciones de gafas.

En la siguiente tabla se desarrolla un resumen de opciones de captura de datos de un humano llevando a cabo una tarea de trabajo colaborativa con un robot.

Objetivo de Captura	Tecnología	Ejemplo de Dispositivo	Aplicación en Robótica Colaborativa
Seguimiento del Movimiento y Gestos del Operario	Sensores de Seguimiento de Movimiento	Sensores de movimiento inercial (IMU)	Los sensores de movimiento, por ejemplo, en los guantes del operario pueden capturar gestos de las manos y brazos, permitiendo que el robot responda a comandos gestuales del operario durante la colaboración.
	Cámaras de Profundidad (Depth Cameras)	Microsoft Kinect Intel Realsense	Las cámaras de profundidad pueden rastrear los movimientos del cuerpo del operario en tiempo real, permitiendo que el robot interprete y responda a sus gestos y posturas mientras colaboran.
	Sistemas de Captura de Movimiento (Motion Capture Systems)	Sistema OptiTrack	Estos sistemas pueden registrar con precisión los movimientos del operario, lo que permite al robot replicarlos o interactuar de manera coherente en una colaboración física o asistida por gestos.
	Gestión de la Visión por Computadora (Computer Vision)	Cámaras convencionales con software programado para identificación de gestos	La visión por computadora puede identificar los gestos del operario, lo que permite que el robot comprenda y responda a comandos gestuales durante la colaboración en tiempo real.
Detección de Proximidad y Presencia	Sensores de Proximidad y Presencia	Sensores de infrarrojos de proximidad Sensores de ultrasonidos	Los sensores pueden detectar la proximidad del operario al robot o a ciertas áreas de trabajo, permitiendo que el robot ajuste su comportamiento en función de la ubicación del operario.
Medición de la Fuerza y Presión Ejercida	Sensores de Fuerza y Presión	Sensores de fuerza resistivos	Estos sensores pueden integrarse en herramientas o superficies de trabajo para detectar la presión ejercida por el operario, lo que permite al robot adaptar su fuerza o comportamiento en respuesta.

AIDIMME INSTITUTO TECNOLÓGICO
GENERALITAT VALENCIANA
IVACE+i INSTITUTO VALENCIANO DE COMPETITIVIDAD E INNOVACIÓN
Financiado por la Unión Europea

Objetivo de Captura	Tecnología	Ejemplo de Dispositivo	Aplicación en Robótica Colaborativa
Interacción Mediante Realidad Aumentada	Dispositivos de Realidad Aumentada (Augmented Reality)	Microsoft HoloLens Magic Leap One Google Glass Enterprise Edition Vuzix Blade Epson Moverio BT-350 DAQRI Smart Glasses Lenovo ThinkReality A3	La realidad aumentada puede proporcionar al operario información adicional o instrucciones visuales sobre la tarea en curso, mejorando la colaboración y la eficiencia en el entorno de trabajo.

2.2.2 Sistemas para el reconocimiento de objetos

Para el reconocimiento de piezas, herramientas o cualquier otro objeto que deba ser manipulado por un robot durante la tarea colaborativa pueden emplearse sensores, dispositivos o marcadores adheridos a los propios objetos para identificar su posición, o bien optar por sistemas basados en cámaras o escáneres. En la siguiente tabla se desarrolla un resumen de diferentes tecnologías que pueden emplearse para capturar la posición de objetos en un entorno de trabajo como el planteado en el proyecto.

Objetivo de Captura	Tecnología	Ejemplo de Dispositivo	Aplicación en Robótica Colaborativa
Identificación de Posición de Piezas	Sistemas de Visión por Computadora	Cámaras RGB-D	Las cámaras RGB-D pueden capturar la posición y forma de las piezas en el espacio de trabajo, permitiendo al robot localizarlas y manipularlas en colaboración con el operario.
	Sistemas de Localización en Tiempo Real	Sensores de ultrasonido Tecnología RFID	Los sensores de ultrasonido o tags de RFID pueden utilizarse para determinar la posición relativa de las piezas o herramientas en el entorno de trabajo, permitiendo al robot interactuar con ellas de manera precisa.
	Marcadores de Posición	Códigos QR Etiquetas de marcadores AR	Los marcadores de posición pueden colocarse en las piezas o herramientas para identificar su posición y orientación en el espacio, facilitando la interacción con el robot.
	Sistemas de Escaneo 3D	Escáneres 3D	Los escáneres 3D pueden crear modelos precisos de las piezas o herramientas en el entorno de trabajo, permitiendo al robot planificar y ejecutar movimientos con mayor precisión durante la colaboración.
	Cámaras convencionales con algoritmos de IA	Cámaras convencionales	Las cámaras convencionales equipadas con algoritmos de inteligencia artificial pueden analizar el entorno de trabajo y reconocer las piezas o herramientas, permitiendo al robot interactuar de manera inteligente y adaptativa con su entorno.

2.2.3 Escenarios de interacción humano-robot

Se define un escenario de trabajo donde humano y robot deben desempeñar una tarea colaborativa donde el humano emite de forma secuencial una serie de instrucciones que el robot debe ir ejecutando paso a paso hasta completar la tarea.

AIDIMME INSTITUTO TECNOLÓGICO
GENERALITAT VALENCIANA
IVACE+i INSTITUTO VALENCIANO DE COMPETITIVIDAD E INNOVACIÓN
Financiado por la Unión Europea

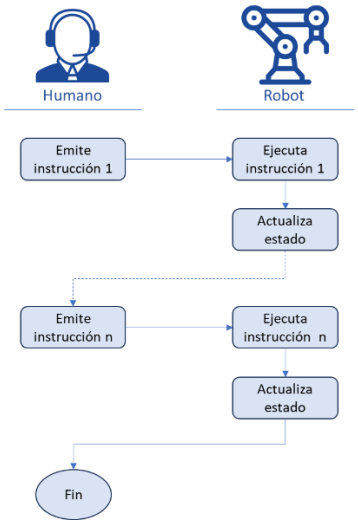

Figura 6: Secuencia de tareas
Fuente: elaboración propia

Para llevar a cabo este escenario se han definido dos posibilidades.

2.2.3.1 Escenario 1

En el primer escenario se dispone de una mesa de trabajo (espacio colaborativo) donde robot y humano colaboran para realizar el montaje de diferentes piezas. Para la captura de datos de este entorno de trabajo se define la necesidad de emplear:

- Una cámara para capturar ubicación de las piezas.
- Una cámara para capturar la ubicación del humano. Esta cámara será necesaria si la mesa de trabajo es tan grande que requiere que su posición sea registrada para que el robot le deje la pieza al alcance de su mano. Si la mesa de trabajo es pequeña, no sería necesaria.

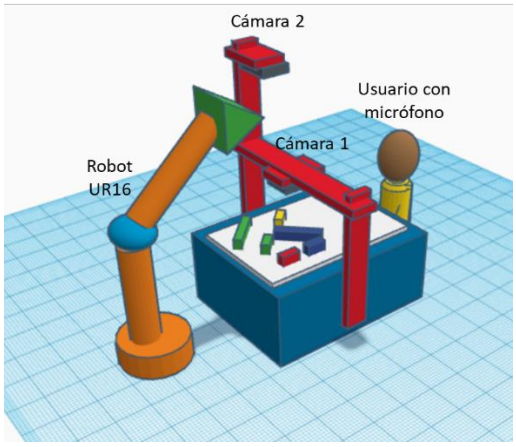

Figura 7: boceto del escenario de trabajo colaborativo nº1
Fuente: elaboración propia

AIDIMME INSTITUTO TECNOLÓGICO
GENERALITAT VALENCIANA
IVACE+i INSTITUTO VALENCIANO DE COMPETITIVIDAD E INNOVACIÓN
Financiado por la Unión Europea

Si bien este es un escenario que permite validar técnicamente los desarrollos del proyecto, se aleja de una aplicación realista ya que el robot realiza tareas que por distancia y peso de las piezas pueden ser realizadas sin problema por el propio operario.

2.2.3.2 Escenario 2

Se plantea un segundo escenario con dos zonas de trabajo. En una primera zona (mesa 1) trabaja solo el robot recogiendo piezas, y en la segunda zona (mesa 2) trabajan el humano y el robot (que entrega y recoge las piezas solicitadas).

De este modo el robot asiste recogiendo piezas de una zona de trabajo donde el humano no alcanza sin tener que realizar un desplazamiento, que le haría perder tiempo en la ejecución de la tarea, al mismo tiempo que incrementaría su fatiga.

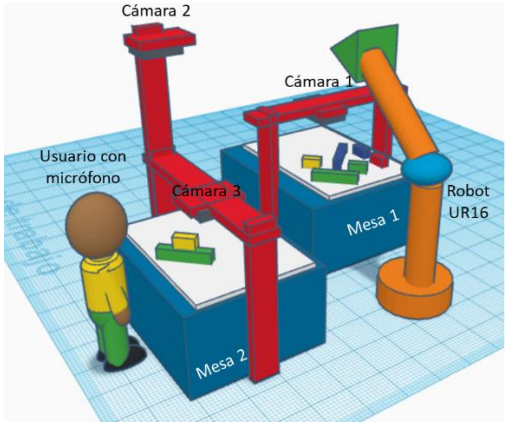

Figura 8: boceto del escenario de trabajo colaborativo nº2
Fuente: elaboración propia

En la siguiente imagen se puede observar como se ha recreado este escenario en las instalaciones de AIDIMME, ubicando las dos mesas de trabajo alrededor de un robot colaborativo, e instalando los sistemas de cámaras encargados de reconocer el entorno.

AIDIMME INSTITUTO TECNOLÓGICO
GENERALITAT VALENCIANA
IVACE+i INSTITUTO VALENCIANO DE COMPETITIVIDAD E INNOVACIÓN
Financiado por la Unión Europea

Figura 9: recreación en AIDIMME del escenario nº2
Fuente: elaboración propia

2.3 Tarea 5.3 Generación de algoritmos y desarrollo del sistema de transferencia de posiciones

2.3.1 Preparación previa

En primer lugar, se genera un dataset con un conjunto de diferentes fotografías de las piezas de trabajo que recojan las diferentes ubicaciones y orientaciones que estas puedan llegar a tener durante la fase de pruebas del demostrador en el PT6.

Tal y como se ha documentado en el entregable asociado al PT4, para el demostrador se van a emplear seis piezas diferentes, formadas por dos tamaños (grande y pequeño) y tres colores (amarillo, rojo y azul).

Para tomar estas fotografías iniciales, se definen 9 posiciones donde se colocará una pieza para realizar las instantáneas. Las posiciones 1, 2 y 3 serán las más próximas a la cámara, y las 7,8 y 9 las más alejadas

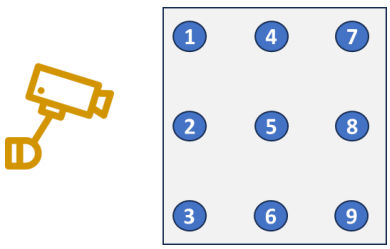

Figura 10:Posiciones de las piezas
Fuente: elaboración propia

Por tanto, se realizan 54 fotografías en total (6 piezas x 9 posiciones).

AIDIMME INSTITUTO TECNOLÓGICO
GENERALITAT VALENCIANA
IVACE+i INSTITUTO VALENCIANO DE COMPETITIVIDAD E INNOVACIÓN
Financiado por la Unión Europea

Cada fotografía se codificará de la siguiente manera:

- G=Piezas grandes (8 pines), P= Piezas pequeñas (4 pines)
- AM= Piezas amarillas, AZ= Piezas Azules, RJ= piezas rojas
- Número de la posición en la mesa= del 1 al 9

Por tanto, una pieza codificada como PAM2 se correspondería con

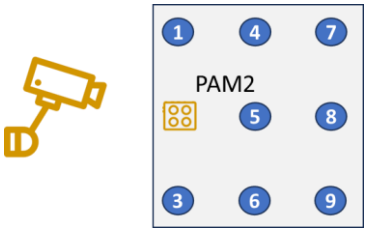

Figura 11:Ejemplo de codificación de las fotografías (i)
Fuente: elaboración propia

Una pieza codificada como GAZ6 se correspondería con

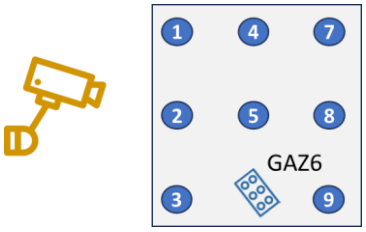

Figura 12:Ejemplo de codificación de las fotografías (ii)
Fuente: elaboración propia

Una pieza codificada como PRJ7 se correspondería con

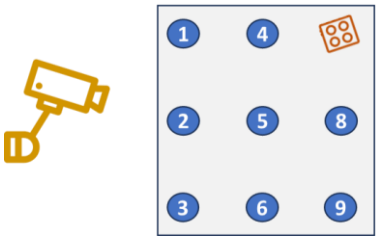

Figura 13:Ejemplo de codificación de las fotografías (iii)
Fuente: elaboración propia

Los parámetros del montaje final para la toma de fotografías en un banco de pruebas inicial son:

- A (altura mesa de trabajo) = 74’5 cm
- B (distancia horizontal cámara a la mesa de trabajo) = 0 cm
- C (distancia vertical cámara a la mesa de trabajo) = 31 cm

Siendo el esquema el siguiente.

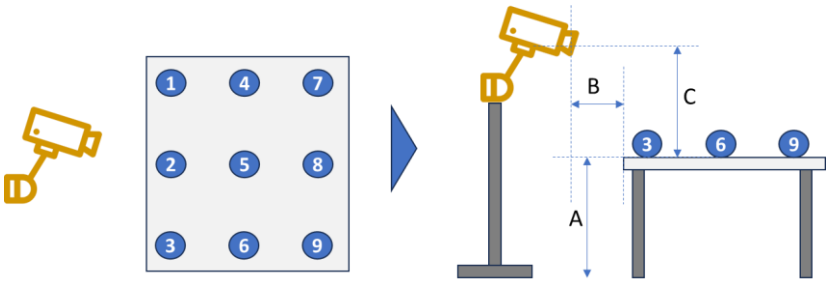

Figura 14:Esquema de montaje de cámara
Fuente: elaboración propia

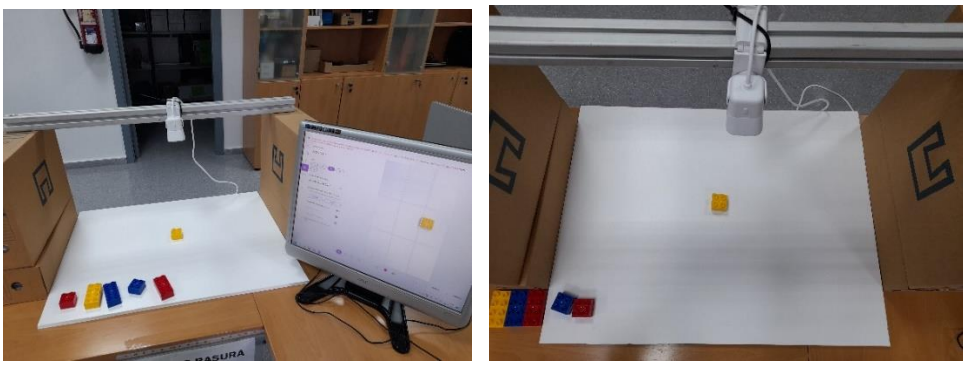

Figura 15:Ejemplo de realización de fotografías
Fuente: elaboración propia

A continuación, se muestra el dataset completo de fotografías para las piezas catalogadas como “Piezas Grandes”.

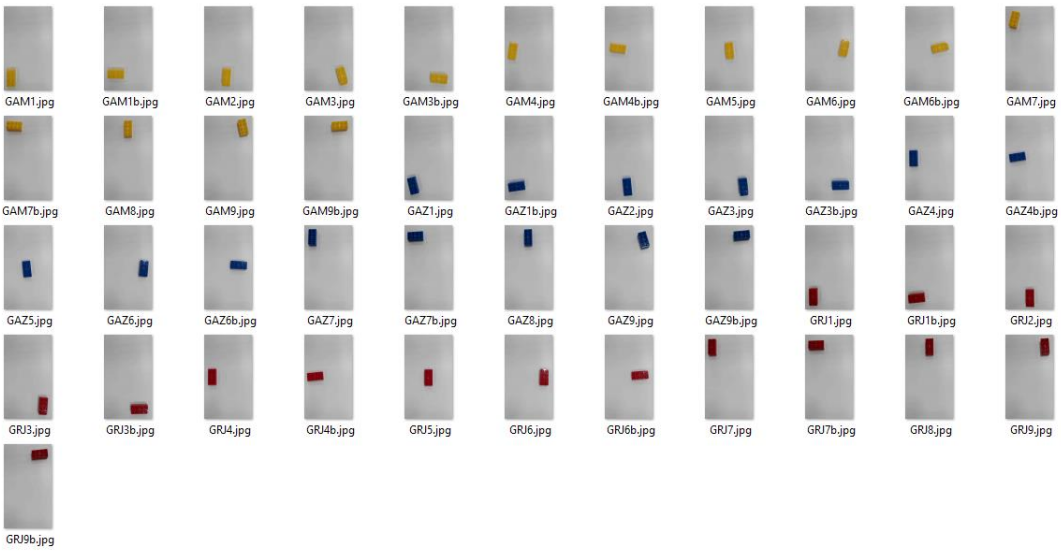

Figura 16:Archivo de entrenamiento de piezas grandes
Fuente: elaboración propia

Y aquí se muestra el dataset completo para las “Piezas pequeñas”. Este dataset contiene menos fotografías que el anterior ya que al ser las piezas cuadradas, no ha hecho falta repetir fotografías con las piezas en orientación vertical y horizontal.

Figura 17:Archivo de entrenamiento de piezas pequeñas
Fuente: elaboración propia

2.3.2 Máscara de filtrado de color

Para obtener un algoritmo que sea capaz de identificar las piezas que se posicionen dentro del rango de visión de la cámara, es necesario identificar cuál es la característica de estas que más destaca en la imagen. En este caso, por el fondo blanco de la mesa, el color es la característica visual más fácil de identificar. Por eso se diseñará e implementará un sistema de filtrado de color capaz de aislar cada color de pieza del fondo.

Para realizar el filtrado, se ha utilizado la codificación de color HSV. La librería OpenCV guarda las imágenes con codificación BGR. Este formato almacena para cada píxel de la imagen un vector de dimensión 3, donde cada una de sus coordenadas representa la cantidad de azul, verde y rojo que debe iluminarse el píxel respectivamente. Por contra, el formato HSV utilizas igualmente vectores de dimensión 3, donde la información que se guarda es el color (Hue), la saturación y el valor. De esta manera, toda la información del color está almacenada en una única componente.

En la siguiente figura se puede observar el modelo HSV de manera gráfica:

AIDIMME INSTITUTO TECNOLÓGICO
GENERALITAT VALENCIANA
IVACE+i INSTITUTO VALENCIANO DE COMPETITIVIDAD E INNOVACIÓN
Financiado por la Unión Europea

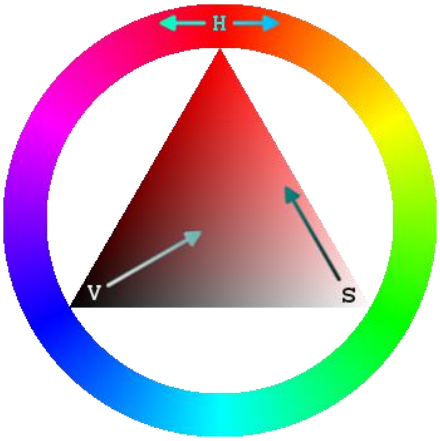

Figura 18: Modelo HSV
Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_de_color_HSV#/media/Archivo:Triangulo_HSV.png

Se utiliza a continuación OpenCV para aplicar a la imagen recibida de la cámara 3 filtros que identifiquen únicamente los valores de Hue que correspondan al rojo, el amarillo y el azul, descartando todos los demás valores. Es importante destacar que el color rojo está incluido tanto en el inicio del espectro como en el final, lo que lleva a que realmente se definan 4 máscaras, al dividir el rojo en *red_low* y *red_high,* aunque el resultado de estas será tratado como único. Mediante este proceso se obtienen resultados como los siguientes:

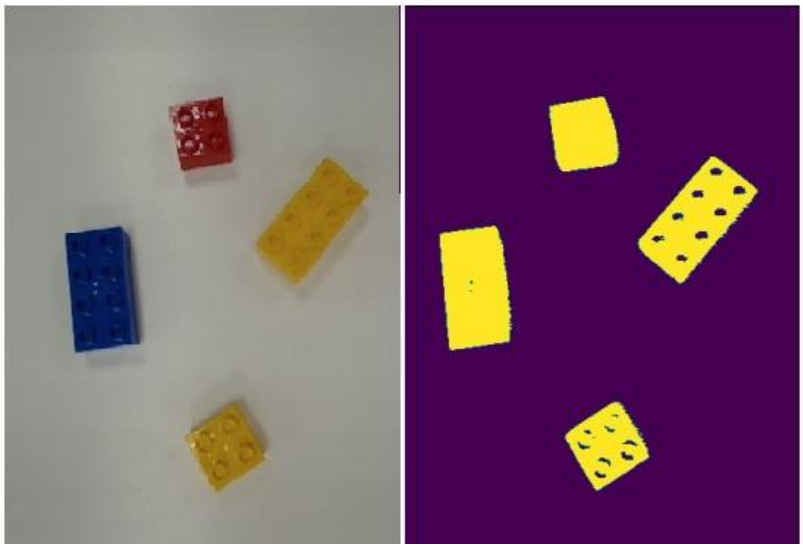

Figura 19: Resultado tratamiento de imagen
Fuente: elaboración propia

2.3.3 Cierre morfológico

Tal como se puede ver en la imagen anterior, debido a la propia iluminación, el sombreado y la posición respecto a la cámara de la pieza, el sistema de máscaras identifica las piezas, pero normalmente no identifica algunos puntos internos de las piezas, Es necesario cerrar estos huecos ya que sino produciría problemas en los pasos

AIDIMME INSTITUTO TECNOLÓGICO GENERALITAT VALENCIANA IVACE-i INSTITUTO VALENCIANO DE COMPETITIVIDAD E INNOVACIÓN Financiado por la Unión Europea

siguientes, para conseguir esto se han utilizado dos procedimientos de modificación morfológica de las imágenes conocidos como dilatación y erosión.

En la siguiente imagen se puede ver el resultado de un ejemplo de su aplicación.

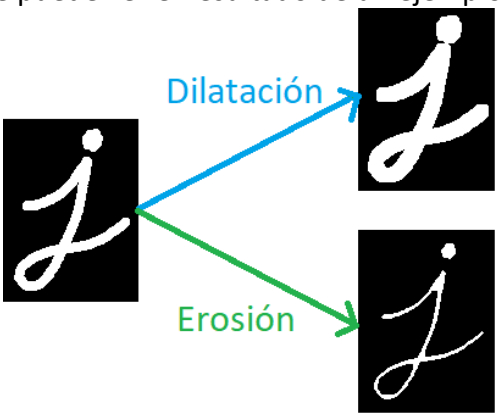

Figura 20: Ejemplo de procesos de "dilatación" y "erosión" de la imagen
Fuente: https://docs.opencv.org/4.x/d9/d61/tutorial_py_morphological_ops.html

La combinación de estas dos operaciones se conoce como cierre morfológico y permite cerrar los huecos internos de la imagen, tal como se ve en la siguiente ilustración.

Figura 21: Ejemplo de cierre morfológico
Fuente: https://docs.opencv.org/4.x/d9/d61/tutorial_py_morphological_ops.html

Podemos ver en la siguiente ilustración el resultado de aplicar un cierre morfológico al resultado obtenido tras la aplicación de máscaras de color con algunas de las piezas del piloto demostrativo del proyecto.

AIDIMME INSTITUTO TECNOLÓGICO
GENERALITAT VALENCIANA
IVACE+i INSTITUTO VALENCIANO DE COMPETITIVIDAD E INNOVACIÓN
Financiado por la Unión Europea

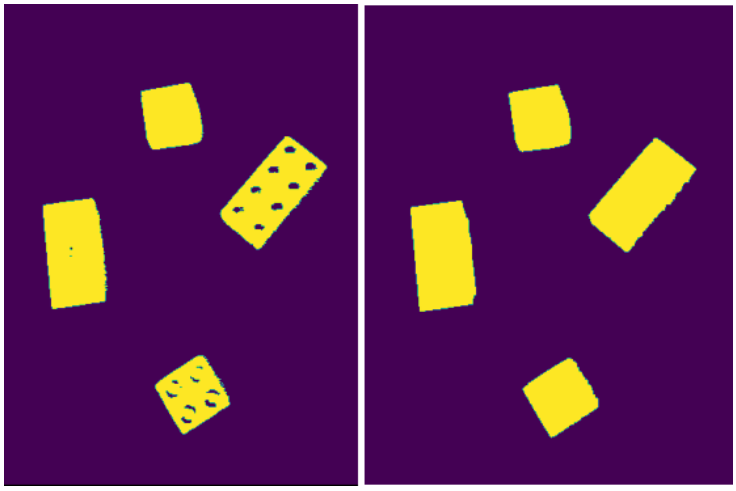

Figura 22: Resultado del cierre morfológico
Fuente: elaboración propia

2.3.4 Identificación de pieza

Para identificar las piezas desde la imagen, se ha utilizado la extracción de componentes conexas que permite openCV. Esta herramienta busca aquellas regiones de la imagen que se encuentren sólidamente conectadas entre sí y las separa de las demás, obteniendo como resultado la posición y el tamaño de cada componente conexa.

Es importante destacar que el fondo en sí es una componente conexa también. Esta se descarta manualmente evitando la componente conexa de mayor tamaño. En la siguiente imagen se muestran las componentes conexas.

AIDIMME INSTITUTO TECNOLÓGICO GENERALITAT VALENCIANA IVACE+i INSTITUTO VALENCIANO DE COMPETITIVIDAD E INNOVACIÓN Financiado por la Unión Europea

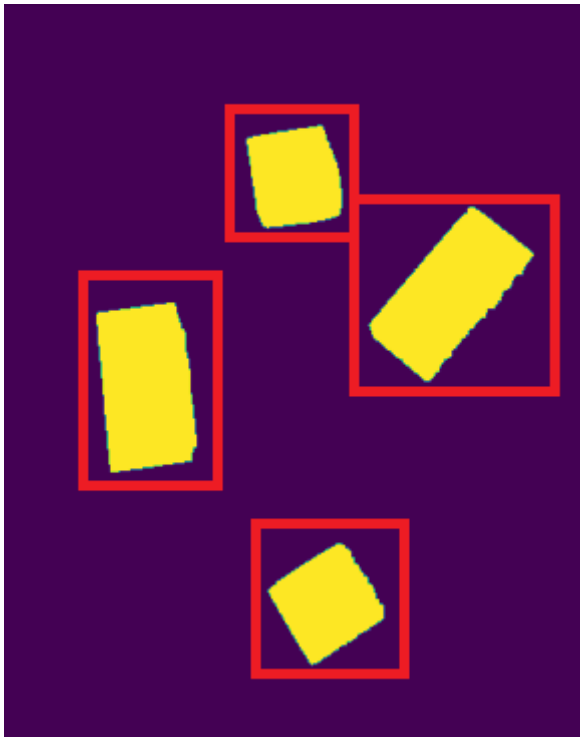

Figura 23: Identificación de cuatro componentes conexas.
Fuente: elaboración propia

Cada una de estas componentes es extraída y tratada de manera individual. El centro de este rectángulo resultante es el empleado para obtener las **coordenadas x, y de la pieza.**

El siguiente paso es encontrar el contorno de la imagen. Se ha llevado a cabo mediante la herramienta de "find countours" de openCV. Esta herramienta esta aplica una máscara que permite encontrar los contornos de la imagen.

Se ha tomado siempre el contorno más largo encontrado, para descartar cualquier efecto que pueda ser provocado por dos piezas que están muy cerca como se muestra en esta imagen.

Figura 24: Selección del contorno más largo
Fuente: elaboración propia

Por último, se ha buscado el rectángulo de menor área que envuelve al contorno encontrado. Para realizar este proceso se envuelve el contorno en un rectángulo.

AIDIMME INSTITUTO TECNOLÓGICO · GENERALITAT VALENCIANA · IVACE+i INSTITUTO VALENCIANO DE COMPETITIVIDAD E INNOVACIÓN · Financiado por la Unión Europea

Para ello, se lleva a cabo un proceso iterativo de rotado y se calcula el área que engloba, al girar 90º, y se devuelve el rectángulo más pequeño considerado de cada una de las iteraciones. En la imagen se muestra en verde el rectángulo inicial que irá girando de manera iterativa.

Figura 25: Rectángulo inicial en las iteraciones
Fuente: elaboración propia

Este rectángulo tiene una triple utilidad:

- Es el rectángulo que se muestra en el programa de demostración para identificar la posición de la pieza encontrada por el sistema de visión
- El ángulo rotado indica el giro de la pieza que se pasará al robot
- Para clasificar la pieza en grande o pequeña, se utiliza la proporción entre el lado largo y corto del rectángulo. Si esta proporción es cercana a 2 se clasifica como pieza grande, mientras que, si es cercana a 1, se clasificará como pequeña.

2.3.5 Desarrollo del sistema de referencia

Tal como se ha explicado en el apartado anterior, las coordenadas de la pieza se obtienen en función de los píxeles de la cámara y la distancia fija de la cámara a la mesa.

Sin embargo, surge la problemática de que estas coordenadas no son útiles cuando se intenta indicar al robot dónde se encuentra la pieza (ya que el robot requiere de coordenadas en base a sus propios ejes, no respecto de la cámara).

Por tanto, es necesario un sistema de calibración que permita actuar como puente entre las coordenadas que genera la cámara y las coordenadas con las que es capaz de trabajar el robot.

El sistema de calibración se basa en el desarrollo de unas coordenadas sobre la mesa y la obtención de la referencia de estas coordenadas respecto al sistema de coordenadas del robot y de la cámara.

Con este sistema, se han conseguido unas coordenadas intermedias que permiten pasar de un sistema a otro. Para esta tarea, se ha generado un modelo de 3 figuras que se

AIDIMME INSTITUTO TECNOLÓGICO GENERALITAT VALENCIANA IVACE+i INSTITUTO VALENCIANO DE COMPETITIVIDAD E INNOVACIÓN Financiado por la Unión Europea

imprimen sobre un folio DIN A4, estas figuras consisten en una cruz, un rombo y un trébol, tal y como se muestra en la siguiente figura.

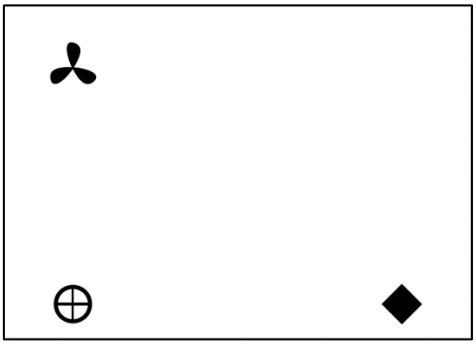

Figura 26: Figuras del sistema de coordenadas desarrollado
Fuente: elaboración propia

El vector con punta en el trébol y cola en la cruz es el vector generador del eje “y” de coordenadas. El tamaño de este vector es siempre 15 cm. Por otra parte, el vector con punta en el rombo y cola en la cruz genera el eje “x” y mide 20 cm.

Una vez situada esta hoja sobre la mesa de trabajo, es necesario obtener en qué coordenadas se encuentra cada una de las figuras respecto del robot y respecto a la cámara, de los dos.

En el caso del robot, ha bastado con mover la pinza del robot a cada una de las figuras y anotar en un archivo JSON cuál es la coordenada correspondiente.

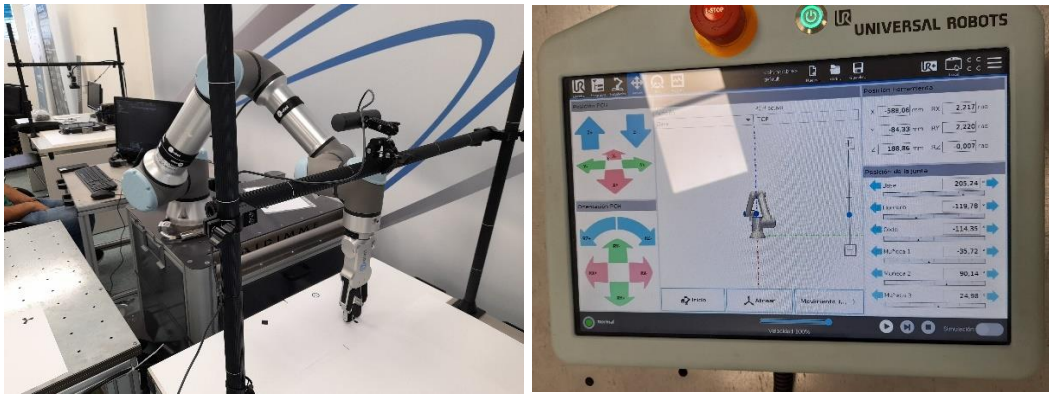

Figura 27: Obtención de las coordenadas del sistema de referencia para el robot
Fuente: elaboración propia

El segundo paso, algo más complejo, ha sido obtener las coordenadas en las que se encuentran las figuras respecto a la cámara. Para realizar esta función, ha sido necesario desarrollar un nuevo sistema de visión artificial que sea capaz de encontrar las figuras en una imagen.

AIDIMME INSTITUTO TECNOLÓGICO
GENERALITAT VALENCIANA
IVACE+i INSTITUTO VALENCIANO DE COMPETITIVIDAD E INNOVACIÓN
Financiado por la Unión Europea

En este caso, todas las figuras son del mismo color, por lo que no es posible utilizar la misma metodología que se ha explicado en apartados anteriores. Por esa razón el método de identificación se basa en la utilización de redes neuronales convolucionales.

Al disponer del diseño de las figuras en un archivo digital, se ha desarrollado un script en Python que genera posibles variaciones de la figura, incluyendo giros, estiramientos y encogimientos para obtener un dataset completo con el que entrenar al modelo. Por otra parte, se ha desarrollado una categoría de objetos desconocidos para que el sistema aprenda a descartar aquellos objetos que no sean estrictamente las figuras.

Con este dataset conformado, se ha empleado keras y tensorflow para entrenar un modelo que es capaz de reconocer todas las figuras. Una vez las identifica, se muestran por pantalla los ejes y pregunta al usuario si son correctos. Y finaliza generando un fichero JSON que muestra las coordenadas de las figuras respecto de la cámara.

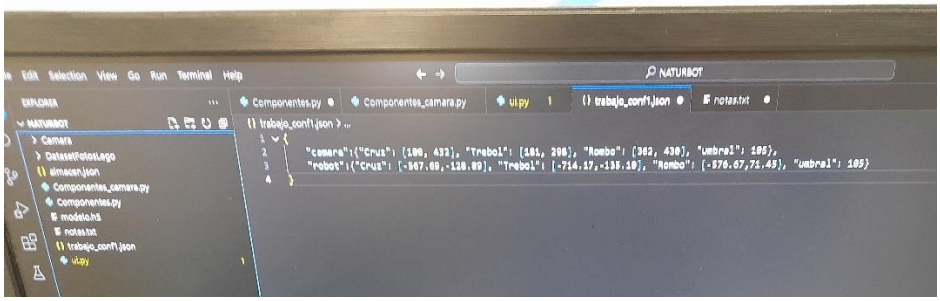

Figura 28: Ficheros con coordenadas de robot y de cámara del sistema de ejes de símbolos
Fuente: elaboración propia

Una vez creados estos dos ficheros, el sistema de visión identifica dónde se encuentran las piezas y se envían las coordenadas de las piezas identificadas al sistema de cambio de coordenadas que calcula las coordenadas del robot.

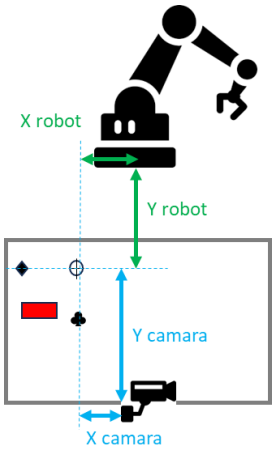

Figura 29: Esquema de coordenadas desde cámara y desde el robot al sistema de ejes
Fuente: elaboración propia

AIDIMME INSTITUTO TECNOLÓGICO
GENERALITAT VALENCIANA
IVACE+i INSTITUTO VALENCIANO DE COMPETITIVIDAD E INNOVACIÓN
Financiado por la Unión Europea

2.3.6 Aplicación de sistemas de referencia a escenarios de trabajo

A la hora de llevar a un plano práctico de pruebas el sistema, se preguntó a las empresas colaboradoras en el proyecto que configuración de trabajo resultaba más interesante o representativa de un proceso real. Las opciones se diferenciaban en si se empleaban dos mesas de trabajo y si el operario se desplazaba o no.

Cuestión T5.3	HURTADO R.	CFZ	DYMSA
Una sola mesa de trabajo y el usuario está quieto (1 cámara – 1 robot)	5	4	5
Una sola mesa de trabajo y el usuario se desplaza en la mesa (2 cámaras – 1 robot)	2	3	5
Dos mesas de trabajo y el usuario está quieto en una de ellas (3 cámaras – 1 robot)	5	5	5
Dos mesas de trabajo y el usuario se mueve en ambas (4 cámaras – 1 robot)	2	4	5

Figura 30: Tabla de cuestiones T5.3
Fuente: elaboración propia.

El resultado fue optar por dos mesas de trabajo y el usuario no se desplaza entre las mismas.

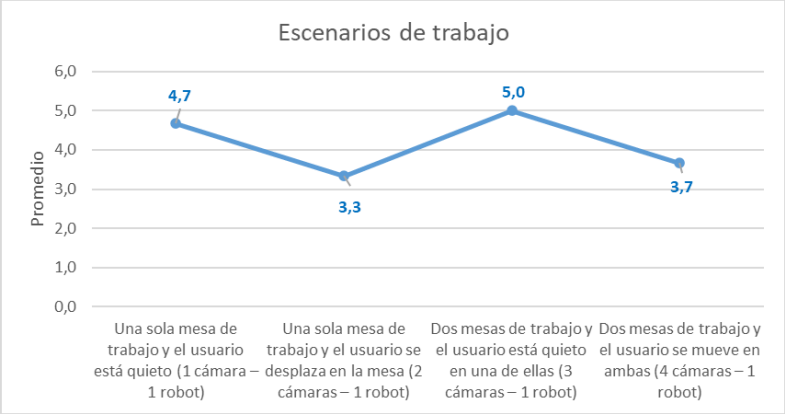

Figura 31: Grafica promedio T5.3
Fuente: elaboración propia.

Por tanto, dado que el operario no se desplaza por la segunda mesa de trabajo, las piezas se pueden entregar en un punto de dejada fijo, sin necesidad de generar un segundo sistema de coordenadas en la segunda mesa donde el operario recibe las piezas.

2.4 Tarea 5.4 Desarrollo de pruebas

El objetivo de las pruebas ha sido verificar que los seis tipos de piezas fueran perfectamente reconocidos por el sistema y se pudieran generar sus coordenadas y ángulos de agarre.

Para ello, se han realizado pruebas con las piezas en diferentes posiciones del espacio de trabajo, con diferentes orientaciones. Se han realizado pruebas con diferente cantidad de piezas en el espacio de trabajo.

AIDIMME INSTITUTO TECNOLÓGICO
GENERALITAT VALENCIANA
IVACE+i INSTITUTO VALENCIANO DE COMPETITIVIDAD E INNOVACIÓN
Financiado por la Unión Europea

También se han realizado pruebas con objetos diferentes a las seis piezas con los que se ha entrenado al sistema para verificar si interferían en el reconocimiento de las piezas.

Finalmente, se han realizado pruebas para validar el método de generación de coordenadas y ángulo de agarre, primero en el simulador de Universal Robots y luego en un entorno real.

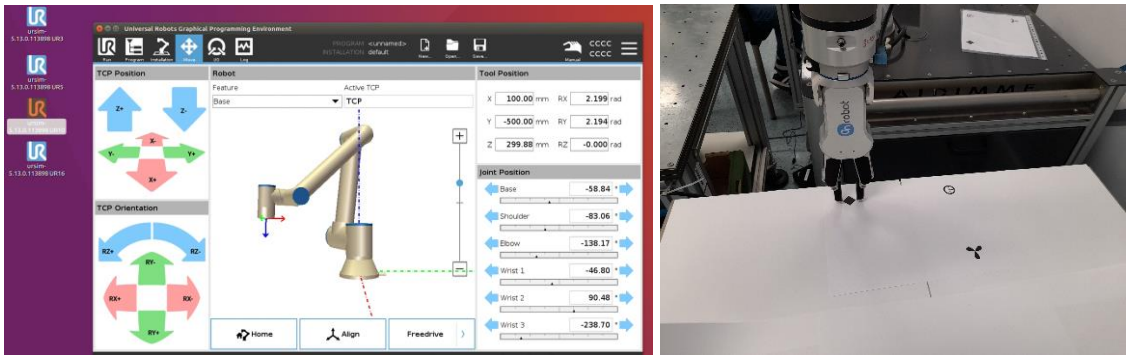

Figura 32: Pruebas en simulador y en entrono real.
Fuente: elaboración propia.

AIDIMME INSTITUTO TECNOLÓGICO
GENERALITAT VALENCIANA
IVACE+i INSTITUTO VALENCIANO DE COMPETITIVIDAD E INNOVACIÓN
Financiado por la Unión Europea

3 Resultados obtenidos

El resultado de las pruebas realizadas ha sido satisfactorio en cuanto que se reconoce el tipo de pieza a manipular y se obtienen tanto sus coordenadas de posición, como su ángulo de agarre. En las siguientes imágenes se muestran ejemplos del resultado del reconocimiento de las piezas, con diferentes posiciones y ubicaciones de estas.

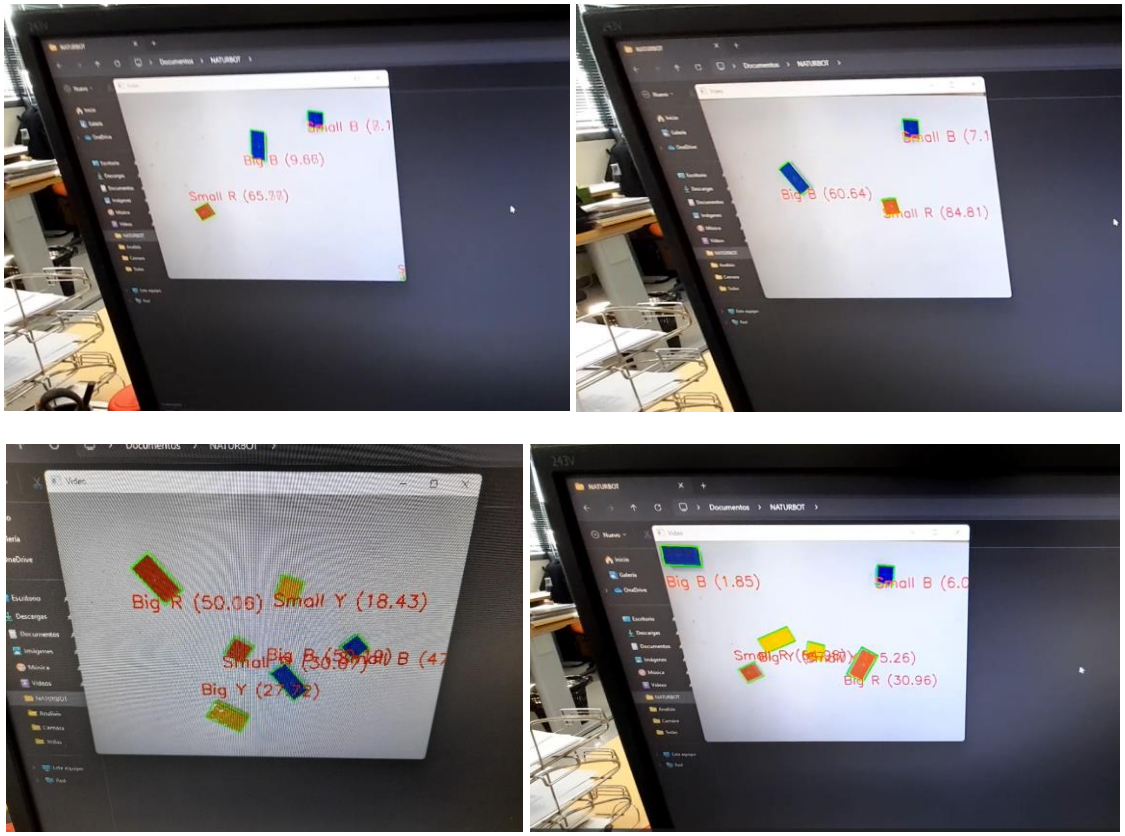

Figura 33: Ejemplos de pruebas del sistema de descripción del contexto
Fuente: elaboración propia.

Se realizaron pruebas también introduciendo piezas o elementos “extraños” con los que no se había entrenado al sistema, por ejemplo, un bolígrafo, unas pinzas de electrónica, o cinta adhesiva.

AIDIMME INSTITUTO TECNOLÓGICO
GENERALITAT VALENCIANA
IVACE+i INSTITUTO VALENCIANO DE COMPETITIVIDAD E INNOVACIÓN
Financiado por la Unión Europea

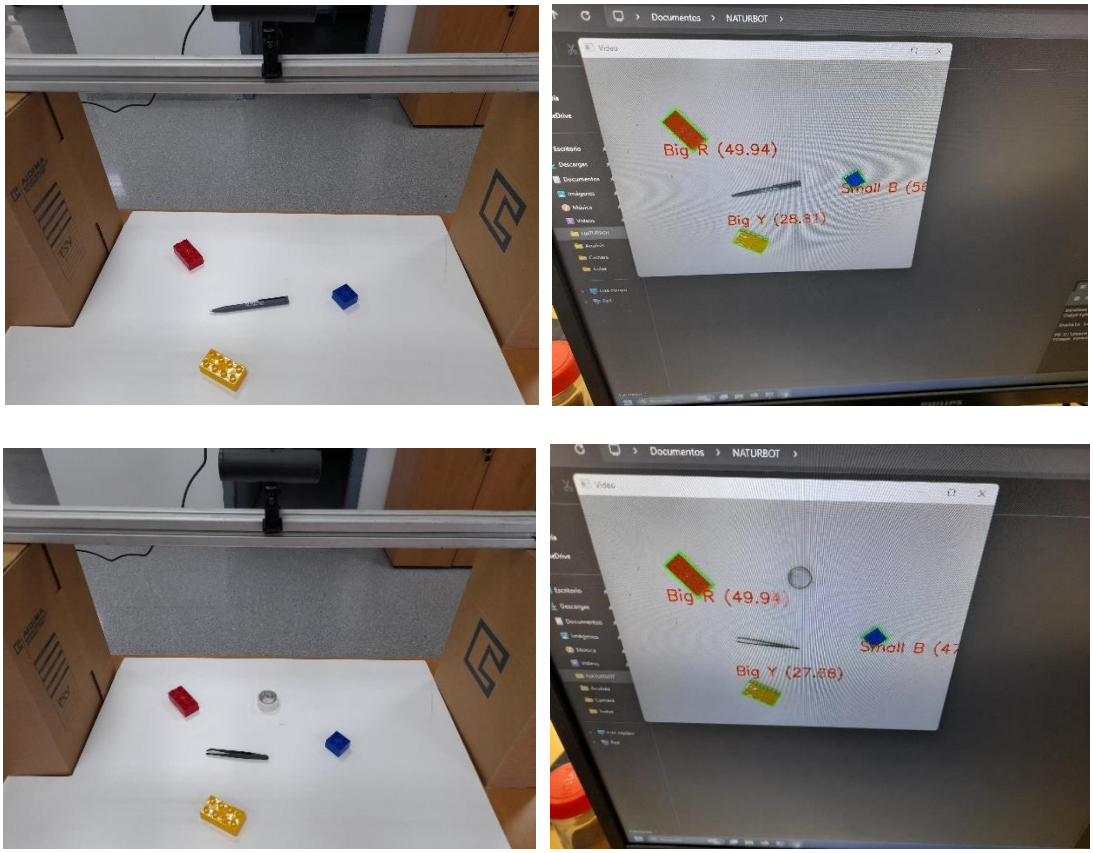

Figura 34: Pruebas con un bolígrafo, pinzas o cinta adhesiva.
Fuente: elaboración propia.

Se comprueba como el sistema no hace caso a estos nuevos elementos y no los considera en sus cálculos de posición y ángulo de agarre.

Si embargo, si se introduce en el campo de la imagen un objeto con forma cuadrada o rectangular del color de las piezas con las que se ha realizado el entrenamiento, se interpreta como una de las piezas a manipular.

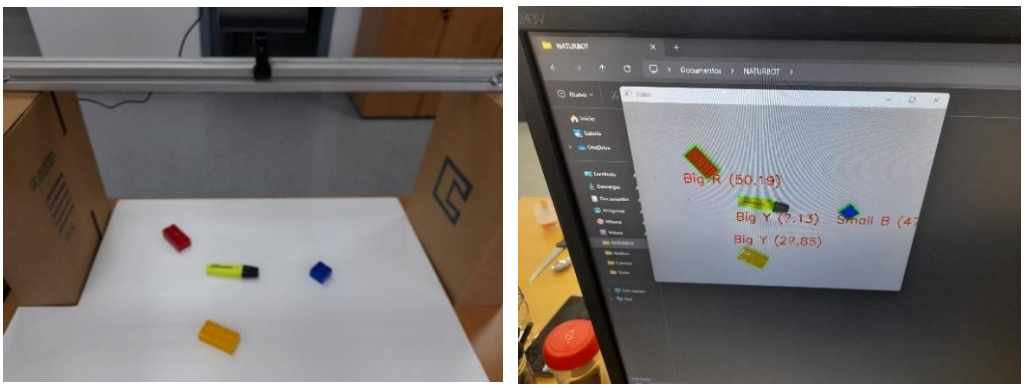

Figura 35: Pruebas con un rotulador rectangular amarillo
Fuente: elaboración propia.

AIDIMME INSTITUTO TECNOLÓGICO
GENERALITAT VALENCIANA
IVACE+i INSTITUTO VALENCIANO DE COMPETITIVIDAD E INNOVACIÓN
Financiado por la Unión Europea

Tras las pruebas realizadas se realizó un ajuste más fino del sistema para evitar este tipo de resultados.

A la hora de definir los indicadores que permitieran validar este sistema dentro del demostrador del paquete de trabajo PT6, se contó con la participación de las empresas colaboradoras en el proyecto.

En diferentes reuniones se les encuestó acerca de que indicadores consideraban importantes para medir la calidad del sistema descripción del contexto, obteniendo el siguiente el resultado.

Cuestión T5.4 a	HURTADO F	CFZ	DYMSA
Tasa de error en el reconocimiento de piezas	5	5	5
Tasa de error en las coordenadas de pieza	4	5	5
Tasa de error en la orientación de la pieza	4	5	4

Figura 36: Tabla de cuestiones T5.4a
Fuente: elaboración propia.

Las valoraciones se realizaron bajo una escala Likert entre 1 y 5, donde 1 implicaba la mínima importancia y 5 la máxima.

Se consideró que los tres indicadores eran relevantes (ya que obtienen una media de puntuación mayor a 4), coincidiendo en que lo más importante es reconocer correctamente las piezas.

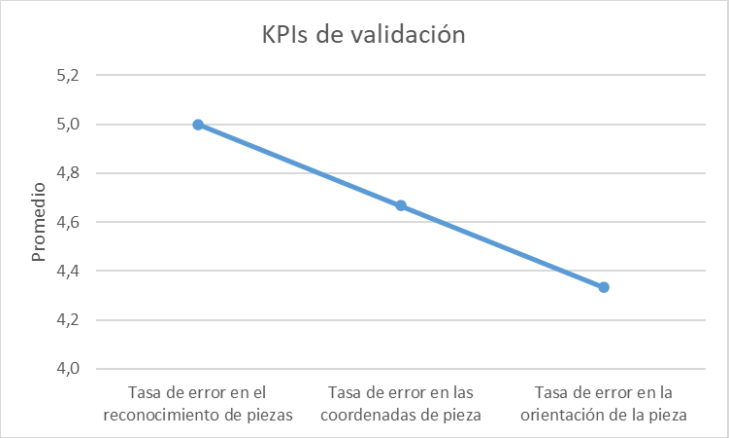

Figura 37: Grafica promedio T5.4a
Fuente: elaboración propia.

Además, se encuestó acerca de los condicionantes que potencialmente podrían afectar al funcionamiento del sistema, para tenerlos en cuenta en el montaje del piloto del PT6.

Cuestión T5.4 b	HURTADO F	CFZ	DYMSA
Posición de la pieza en la mesa de trabajo	5	5	1
Orientación de la pieza en la mesa de trabajo	4	5	1
Posición del usuario en la mesa de trabajo	3	4	3
Condiciones de iluminación del entorno	4	5	5
Color y textura del fondo de foto (mesa de trabajo)	5	5	5

Figura 38: Tabla de cuestiones T5.4b
Fuente: elaboración propia.

Las empresas han considerado que lo más importante son las condiciones de iluminación del entorno (por la generación de sombras sobre las piezas) y el color y textura de las mesas de trabajo (para generar un buen contraste con las piezas a reconocer).

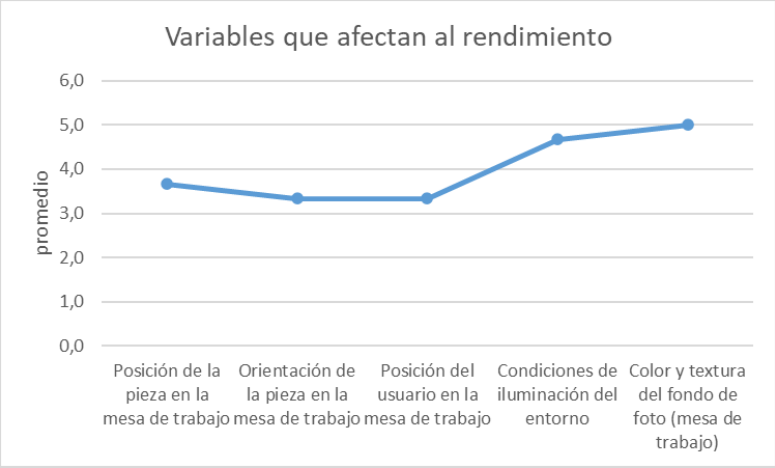

Figura 39: Grafica promedio T5.4b
Fuente: elaboración propia.

AIDIMME INSTITUTO TECNOLÓGICO
GENERALITAT VALENCIANA
IVACE+i INSTITUTO VALENCIANO DE COMPETITIVIDAD E INNOVACIÓN
Financiado por la Unión Europea

4 Conclusiones

Como conclusiones al desarrollo de las actividades ejecutadas en el paquete de trabajo PT5 asociado al presente entregable podemos destacar las siguientes:

- Las tareas donde se considera que los resultados de NATURBOT mejoran una aplicación de robótica colaborativa son: “Selección y montaje de componentes”, “Inspección de piezas”, y “Alimentación de piezas a diferentes líneas”. Se ha seleccionado la primera de ellas como aplicación base para validar los desarrollos generados.
- Se ha llevado acabo una revisión de sensores y dispositivos para el reconocimiento del entorno de trabajo del robot.
- Se ha definido un entorno de trabajo para replicar un caso de uso de selección y montaje de componentes. Este entorno se compone de dos mesas de trabajo y un conjunto de cámaras para poder identificar las piezas de trabajo y su posición respecto del robot.
- El sistema desarrollado aplica sobre las imágenes de las piezas una máscara de filtrado de color y un cierre morfológico, para poder identificar la pieza y obtener sus coordenadas respecto del robot.
- El sistema desarrollado ha sido entrenado para reconocer 6 piezas diferentes en base a tres colores y dos tamaños.
- El sistema se ha testado con diferentes ubicaciones de piezas, cantidad de estas en un mismo espacio de trabajo y con variación del ángulo de agarre.

AIDIMME INSTITUTO TECNOLÓGICO
GENERALITAT VALENCIANA
IVACE+i INSTITUTO VALENCIANO DE COMPETITIVIDAD E INNOVACIÓN
Financiado por la Unión Europea

5 Anexos y bibliografía

Valenciana, G. (11 de 11 de 2019). *https://www.prlcuatropuntocero.es.* Recuperado el Enero de 2022, de https://www.prlcuatropuntocero.es/Materiales/Guias.html: https://www.prlcuatropuntocero.es/Materiales/Guias.html

AIDIMME
INSTITUTO TECNOLÓGICO

Domicilio fiscal —
C/ Benjamín Franklin 13. (Parque Tecnológico)
46980 Paterna. Valencia (España)
Tlf. 961 366 070 | Fax 961 366 185

Domicilio social —
Leonardo Da Vinci, 38 (Parque Tecnológico)
46980 Paterna. Valencia (España)
Tlf. 961 318 559 - Fax 960 915 446

aidimme@aidimme.es
www.aidimme.es