



Reconocimiento automatizado y localización espacial de instrumentación de laboratorio en un entorno de síntesis de materiales mediante un robot colaborativo.

Una solución de bajo costo para la automatización en la síntesis de materiales

PRESENTA:

MTRO. FRANCISCO JOSÉ LÓPEZ CORTÉS



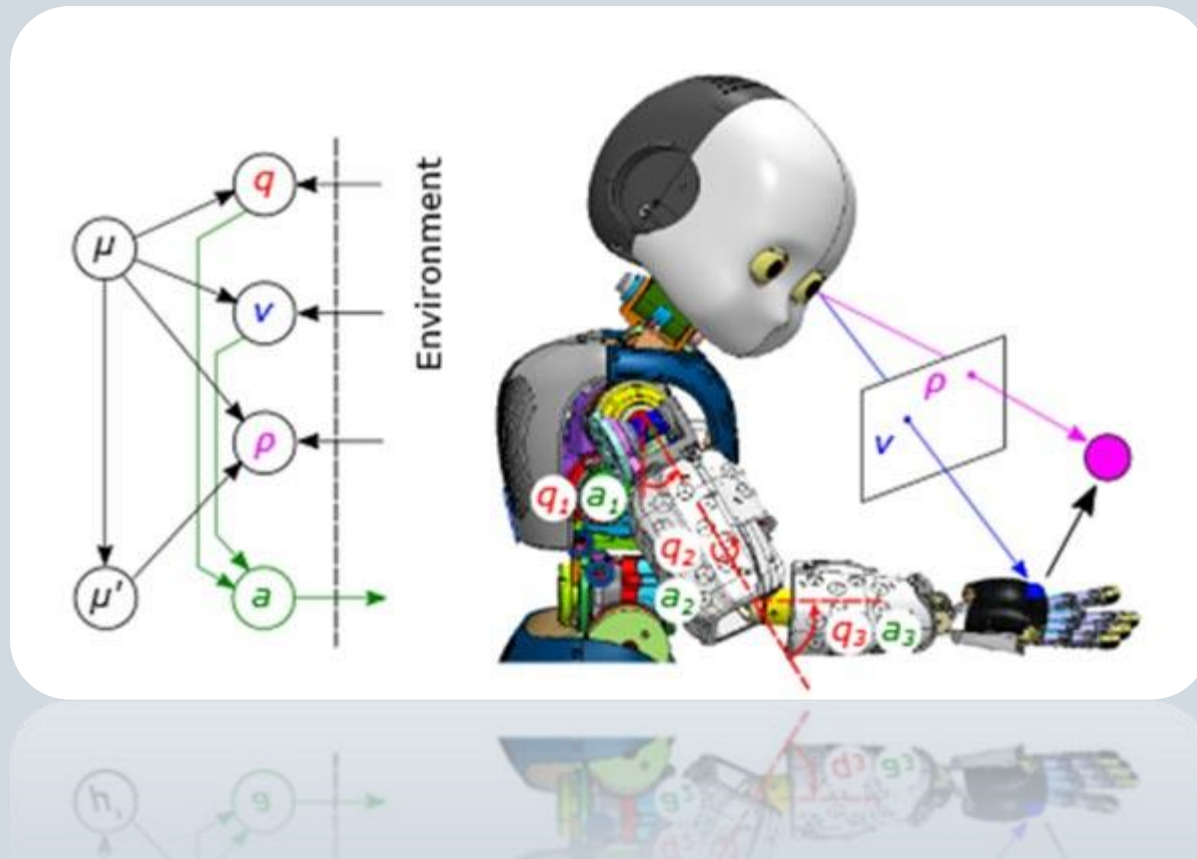
Introducción

La automatización de los procesos en los laboratorios de síntesis de materiales permite una mayor eficacia y reproducibilidad. Este tipo de procesos requiere soluciones precisas, eficientes y de bajo coste para la identificación y manipulación de objetos.

Los robots colaborativos (Cobots) han surgido como herramientas gracias a su capacidad para interactuar de forma segura con los humanos en tareas compartidas.



Sin embargo, la percepción del entorno y la localización precisa de objetos son barreras significativas. Los sensores de profundidad (LiDAR, RGB-D) son efectivos pero costosos, limitando su adopción.



Sensores de profundidad

Propuesta

Presentamos una metodología que utiliza una única cámara 2D y visión por computadora para estimar la posición espacial de instrumentos. El sistema se integra en un robot colaborativo ABB YuMi para permitir la manipulación autónoma de objetos en un entorno de laboratorio.

Metodología

Nuestro sistema se estructura en cuatro fases clave, desde la captura de imagen hasta la acción robótica.



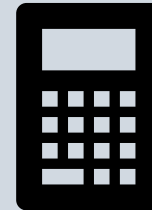
Detección

Uso de una red YOLO-NAS reentrenada para identificar instrumentos de laboratorio en imágenes 2D.



Calibración

Calibración intrínseca de la cámara para corregir distorsiones y obtener parámetros esenciales.



Estimación

Cálculo de la distancia y posición del objeto usando geometría proyectiva y similitud de triángulos.



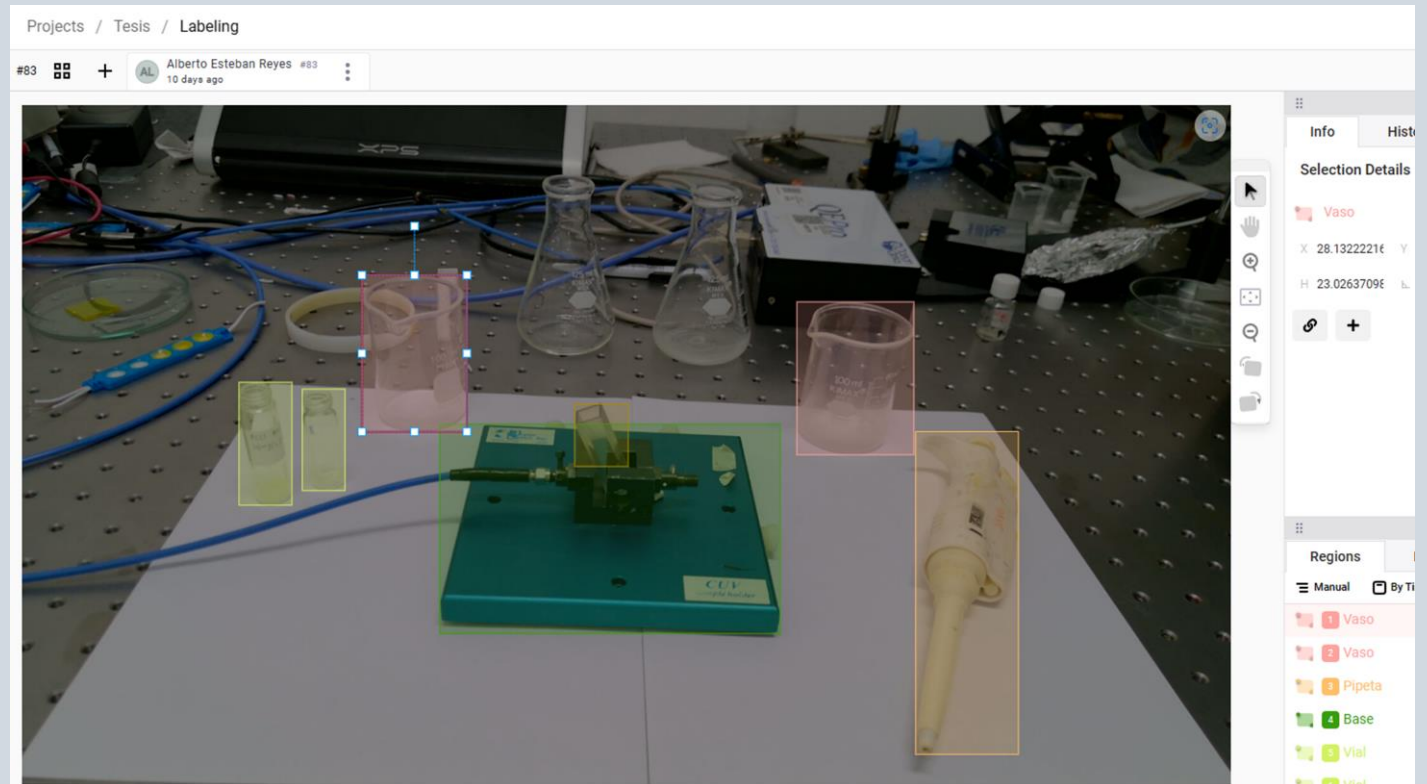
Integración

Comunicación con el controlador del robot YuMi para ejecutar movimientos de manipulación.

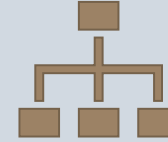
Recolección y Etiquetado



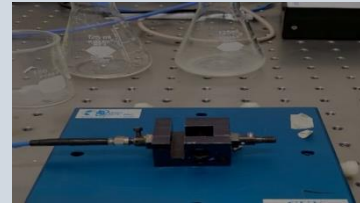
Se capturaron 809 imágenes de instrumentos (vasos de precipitados, matraces, viales) y se etiquetaron manualmente con Label Studio.



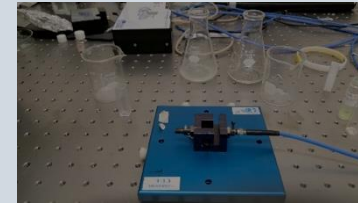
Aumento de Datos (Data Augmentation)



Se aplicaron transformaciones geométricas y de color (rotación, ruido, etc.) para expandir el dataset a 6,777 imágenes, mejorando la generalización del modelo.



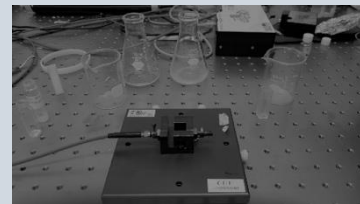
Recorte aleatorio



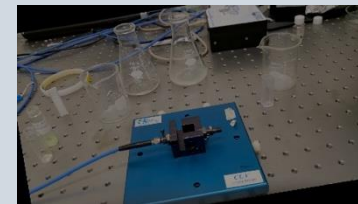
Volteo horizontal



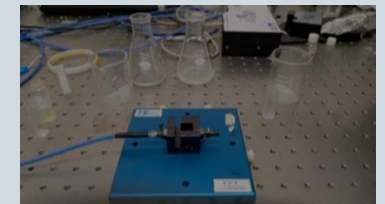
Volteo vertical



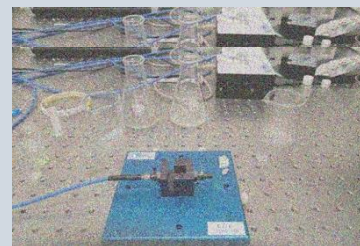
Escala de grises



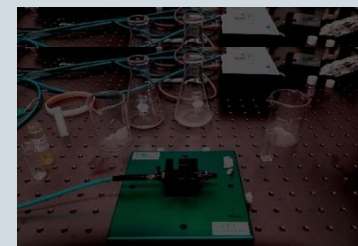
Rotación aleatoria



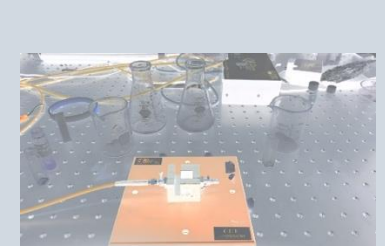
Desenfoque



Ruido aleatorio



Color aleatorio



Invertir color

Entrenamiento y Rendimiento



Se reentrenó la arquitectura YOLO-NAS, alcanzando una precisión media promedio (mAP@0.5) del 91.5% en el conjunto de prueba.



Matraz



Matraz de tres bocas



Vial



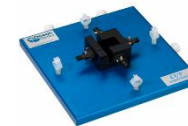
Cuvette



Vaso de precipitado



Pipeta de precisión



Base para muestras

Calibración y estimación de distancia

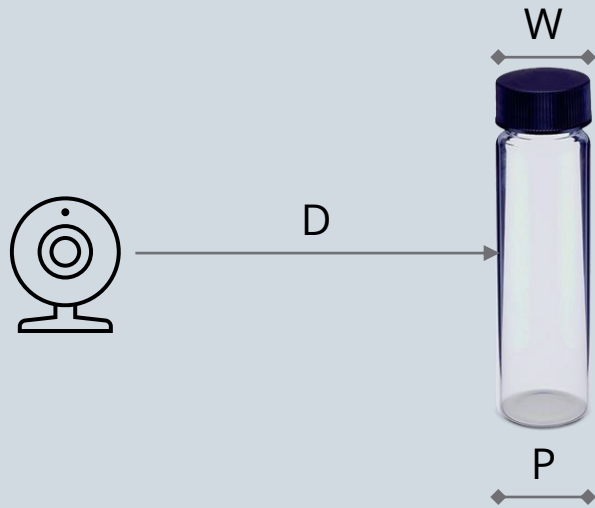
Se obtiene la distancia con la ayuda de la similitud de coseno por lo que es necesario saber la medida del ancho del objeto W y la distancia de referencia al objeto D .

Al tomar la captura del objeto para guardarlo en la distancia de referencia, se obtiene también el ancho en píxeles del objeto P , una vez obtenidos los valores se calcula la distancia focal usando la formula:

$$F = \frac{P \times D}{W}$$

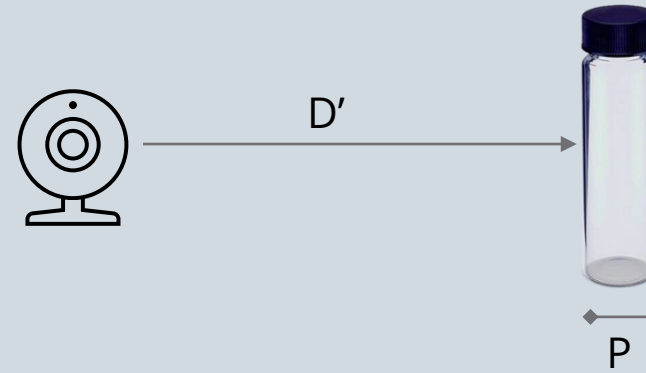
Una vez que se tenga la distancia focal se puede obtener una estimación de distancia con la formula:

$$D' = \frac{W \times F}{P}$$



$$F = \frac{(P \times D)}{W}$$

Cálculo de la distancia focal

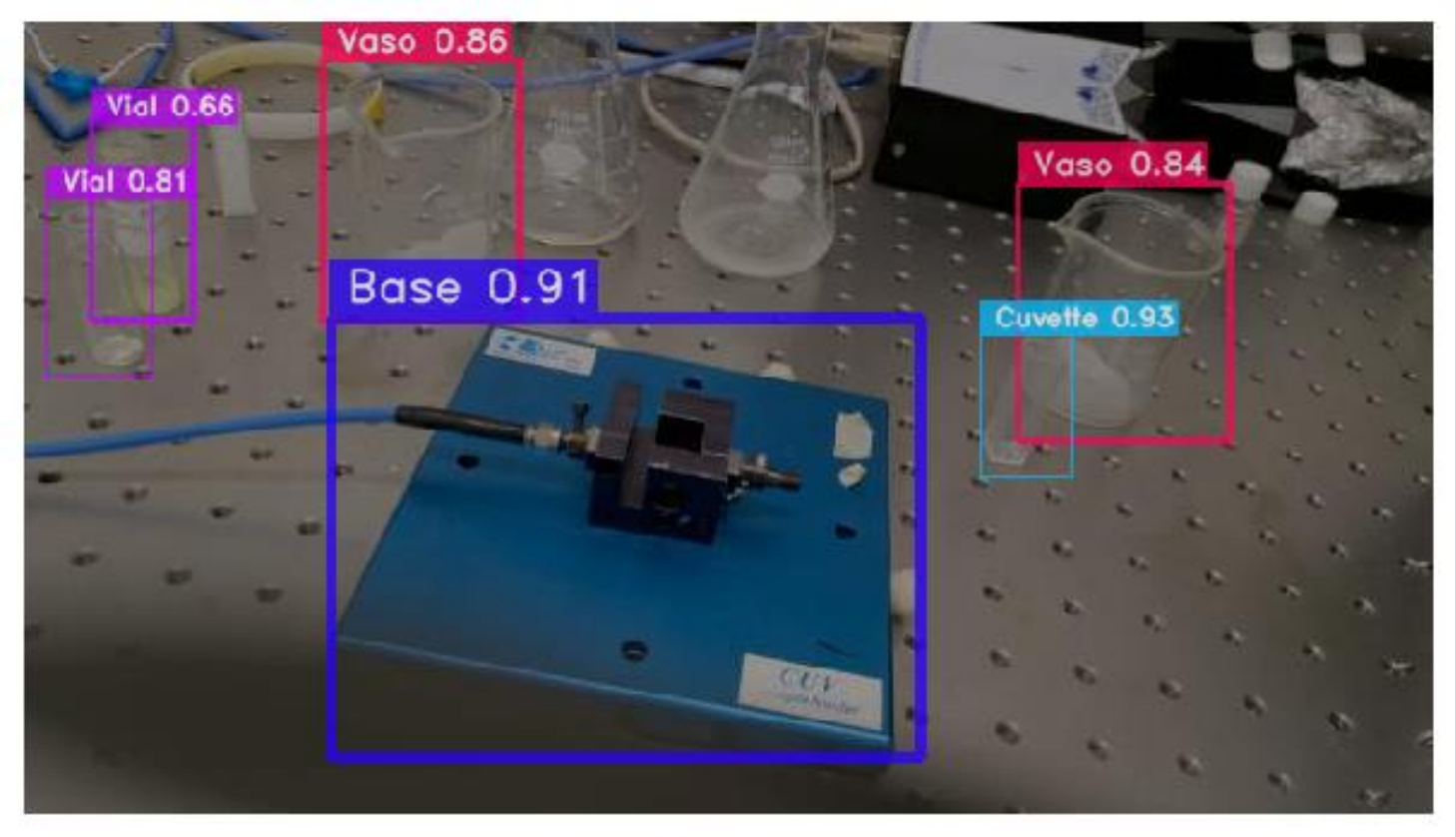


$$D' = \frac{(W \times F)}{P}$$

Cálculo de la distancia usando la distancia focal

Cálculo de distancia focal				
Objeto	Distancia de Referencia	Ancho	Ancho en pixeles	Distancia Focal
Cuvette	25 cm	1.5 cm	94 px	1566.66
Matraz	25 cm	5.0 cm	233 px	1165.00
Vaso	25 cm	5.8 cm	304 px	1310.34
Vial	25 cm	1.5 cm	103 px	1716.66

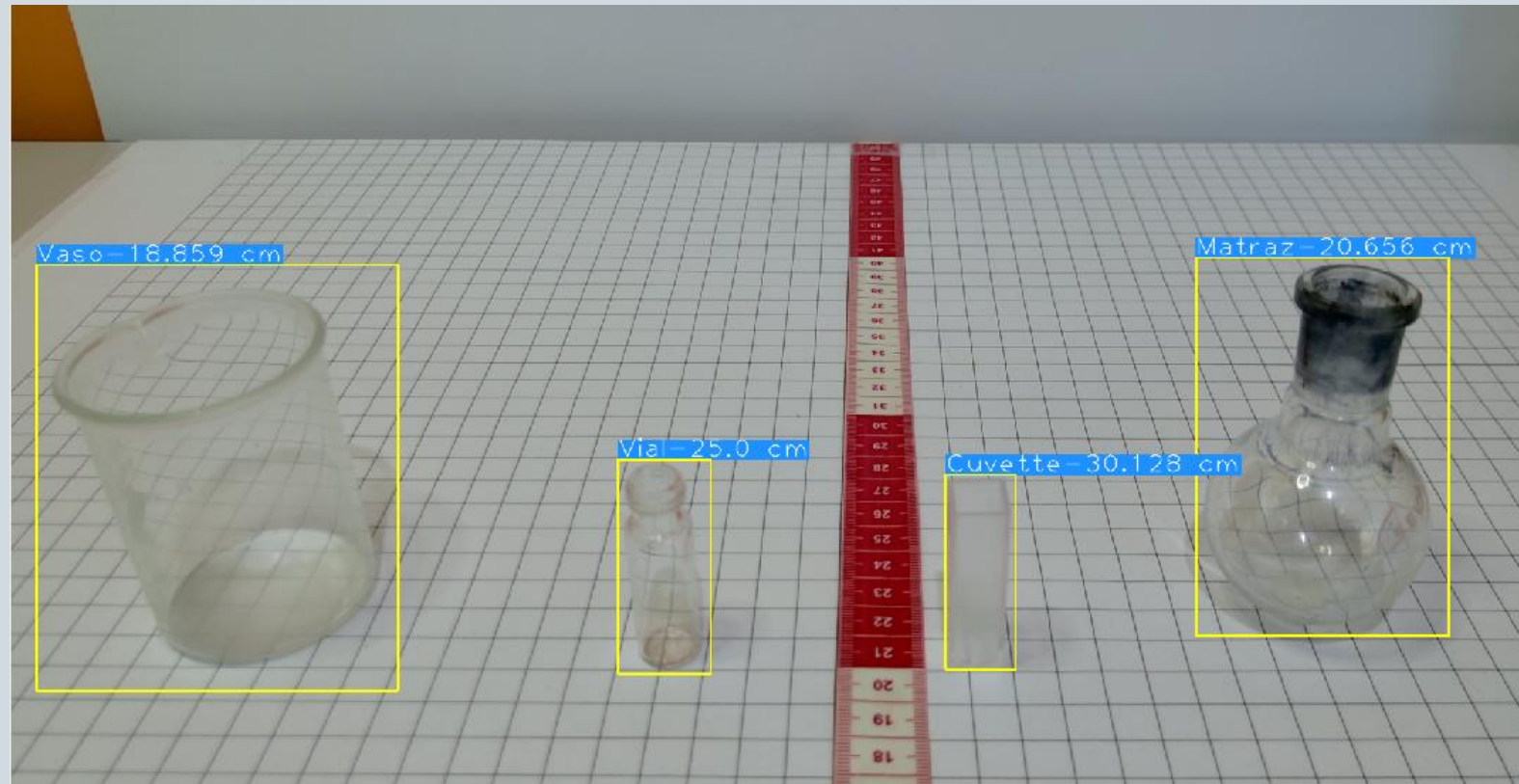
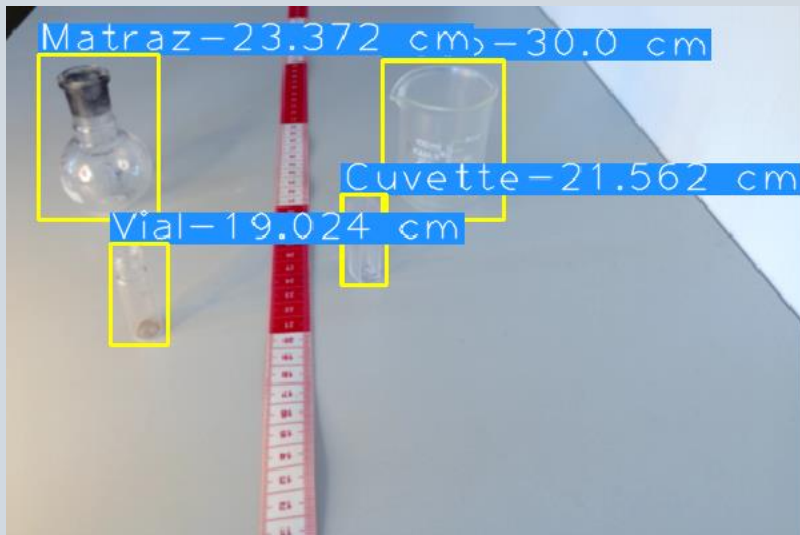
Resultados



Precisión en la Identificación de Objetos		
Objeto	AP@0.50	AP@0.75
Base	0.96	0.94
Cuvette	0.95	0.91
Matraz	0.98	0.93
Pipeta	0.94	0.67
Vaso	0.88	0.79
<i>mAP</i> 0.95		<i>mAP</i> 0.86

Se realizaron pruebas de estimación de distancia de un vaso de precipitado, cuvette, matraz, vial, se colocaron en distancias de 20,30,40 cm y se realizó una comparación con la distancia real para calcular el porcentaje de error con la formula:

$$e_r(\%) = \frac{|D_{est} - D_{real}|}{D_{real}} \times 100$$

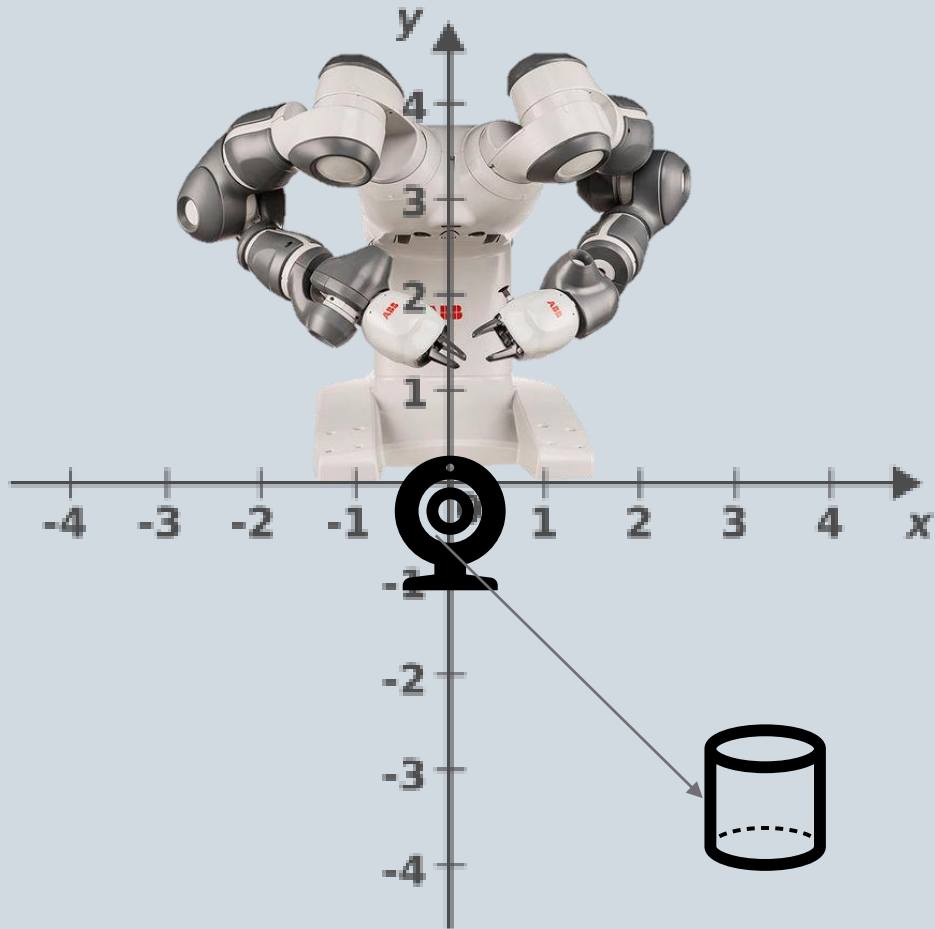


Estimación de la distancia de Cuvette			
Distancia Real	Distancia Estimada	Diferencia	Porcentaje de error
20 cm	30.128 cm	10.128 cm	50.64%
30 cm	34.058 cm	4.058 cm	13.52%
40 cm	43.519 cm	3.519 cm	8.79%

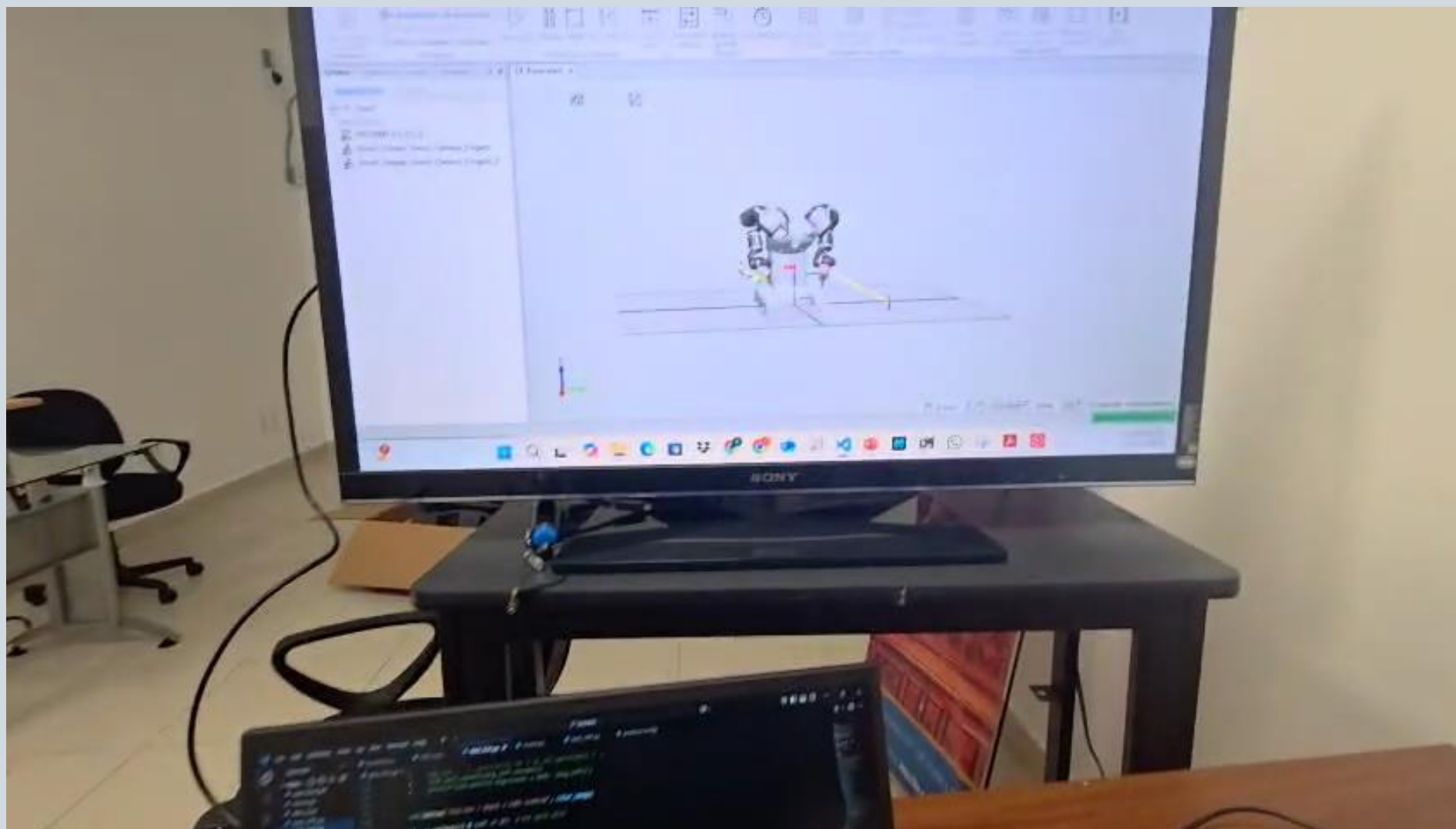
Estimación de la distancia de Matraz			
Distancia Real	Distancia Estimada	Diferencia	Porcentaje de error
20 cm	20.656 cm	0.656 cm	3.28%
30 cm	26.121 cm	-3.879 cm	12.93%
40 cm	33.097 cm	-6.903 cm	17.25%

Estimación de la distancia de Vaso de Precipitado			
Distancia Real	Distancia Estimada	Diferencia	Porcentaje de error
20 cm	18.895 cm	-1.105 cm	5.525%
30 cm	26.207 cm	-3.793 cm	12.64%
40 cm	33.043 cm	-6.957 cm	17.39%

Estimación de la distancia de Vial			
Distancia Real	Distancia Estimada	Diferencia	Porcentaje de error
20 cm	25.0 cm	5.000 cm	25%
30 cm	32.188 cm	2.188 cm	7.29%
40 cm	40.234 cm	0.234 cm	0.58%



La cámara debe estar en un punto conocido dentro del área de trabajo del robot para realizar la estimación de distancia del instrumental de laboratorio



Conclusiones

- **Desarrollo del sistema:** Se creó un sistema de visión por computadora basado en una Red Neuronal Convolutiva (CNN) para identificar instrumentos químicos en un laboratorio de síntesis de materiales.
- **Conjunto de datos:** Inicialmente, se generaron 809 imágenes, que se expandieron a 6777 imágenes mediante técnicas de aumento de datos.
- **Entrenamiento y precisión:** La CNN fue reentrenada, logrando una precisión media (mAP) de 86% con IOU 0.75, indicando alta precisión en la identificación de instrumentos.
- **Limitaciones de la triangulación:** La estimación de distancia mediante triangulación enfrenta limitaciones como la correspondencia de puntos, calibración de cámaras y distorsiones ópticas, afectando la precisión.
- **Integración:** Se logró obtener distancias de instrumental de laboratorio y comunicarlas al robot Yumi para realizar la acción de pick and place.

GRACIAS
