



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

## Inspección de plancha de huevos con visión artificial

Butlerov Taboada, Rurik Maximiliano

Ocampos Escobar, Guillermo Osvaldo

Trepowski Castillo, Caleb

ROBÓTICA 2

18 de enero de 2024

### Resumen

Este proyecto se centra en la aplicación de un algoritmo mediante visión artificial para llevar a cabo la inspección de bandejas de huevos. El objetivo principal del algoritmo es identificar áreas donde falten huevos, obtener sus posiciones y, posteriormente, utilizar un robot SCARA para colocar los huevos faltantes. El robot SCARA, desarrollado en el marco de la cátedra de Robótica 1, ha experimentado mejoras significativas tanto en su código como en su ensamblaje para abordar y mejorar las limitaciones identificadas durante su implementación inicial y poder utilizarlo correctamente.

**DESCRIPCIÓN:** Este informe detalla un proyecto dedicado a la implementación de un algoritmo de control diseñado específicamente para el robot SCARA desarrollado en la cátedra de Robótica 1. El enfoque central de este proyecto se centra en la utilización de visión artificial para la inspección de bandejas de huevos, con el objetivo de identificar áreas sin huevos que fueron detectadas anteriormente. Una vez evaluada la cantidad de espacios vacíos y obtenidas las posiciones de los huecos sin huevos mediante el uso de transformaciones por homografía, el robot se encargará de completar la tarea, extrayendo huevos adicionales de otra ubicación y colocándolos en cada hueco hasta lograr que todos los espacios estén ocupados. Además, se llevarán a cabo mejoras en la construcción del robot para abordar y solucionar los inconvenientes detectados anteriormente en el eje Z.

### I. MEJORAS REALIZADAS

El ensamblaje original fue modificado mediante el uso del software Fusion 360 de Autodesk.

Debido a las deficiencias observadas en el rendimiento del eje Z en el diseño original, particularmente en su capacidad para soportar el peso, se procedió a modificar la pieza que conecta

los ejes lisos y el brazo. En el diseño previo, se emplearon cuatro rodamientos LM10UU [3] para soportar la totalidad del peso del brazo, lo cual resultó en un desgaste prematuro de los rodamientos y las varillas, generando un movimiento no fluido en el eje Z.

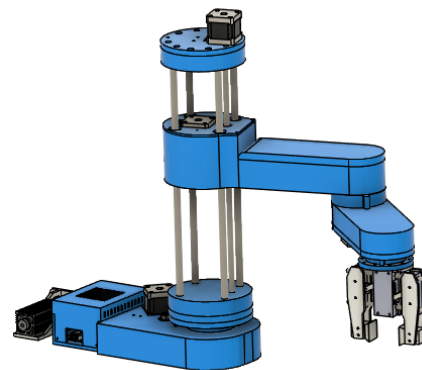


Figura 1: Ensamblaje final actualizado del SCARA.  
Fuente: [1]

La modificación implementada consiste en el uso de ocho rodamientos para ampliar las secciones de soporte y distribuir más eficientemente la carga. Este enfoque evita la concentración de peso en solo cuatro rodamientos, mejorando la durabilidad del sistema. Además, se utilizó el espacio libre en la

ubicación del motor NEMA 17 [2] para alojar los rodamientos adicionales, asegurando así que no se sacrifique el rango de movimiento en el eje Z.

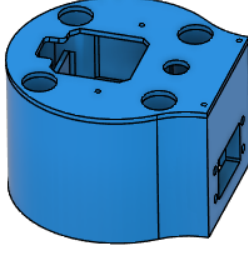


Figura 2: Pieza nueva diseñada para mejorar el eje Z. Fuente: Diseño Propio

Con el objetivo de optimizar la gestión del cableado, se implementaron perforaciones adicionales en la estructura del robot. Además, se ideó una tapa superior diseñada específicamente para cubrir la parte superior del robot, con el propósito de prevenir la acumulación de polvo. Estas mejoras no solo contribuyen a una mayor eficiencia en el manejo de los cables, sino que también mejoran significativamente el aspecto estético del robot.

## II. HOMOGRAFÍA PARA LA TRIANGULACIÓN DE POSICIÓN

### I. Matriz de Homografía

Brevemente, la homografía plana relaciona la transformación entre dos planos (hasta un factor de escala):

$$s \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = H \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

La matriz de homografía es una matriz de  $3 \times 3$  pero con 8 DoF (grados de libertad) como se estima a escala. Generalmente está normalizado con:  $h_{33} = 1$  ó  $h_{21} + h_{22} + h_{23} + h_{31} + h_{32} + h_{33} = 1$

### II. Utilidades y tipos de transformaciones

La homografía se utiliza en investigaciones para estimar la posición de la cámara en realidad aumentada con marcadores, corregir perspectivas y realizar la unión de imágenes para crear panoramas.

Los diversos tipos de transformaciones examinados en este estudio convergen en una transformación específica entre dos planos. En este proyecto se utilizará la transformación entre una superficie plana y el plano de una imagen, utilizando una cámara.

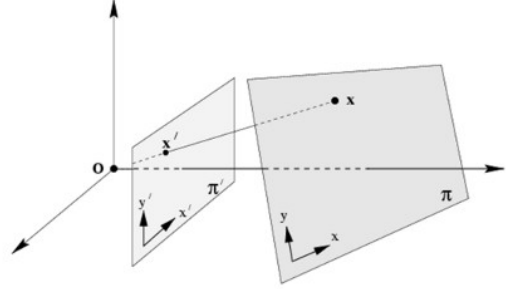


Figura 3: Transformación entre una superficie plana y el plano de la imagen. Fuente: [8]

## III. Algoritmo de homografía

La homografía se puede estimar mediante el algoritmo de Transformación Lineal Directa (DLT). En el caso de un objeto plano, la homografía describe la transformación entre puntos en el marco del objeto y puntos proyectados en el plano de la imagen, expresados en el marco normalizado de la cámara. La pose de la cámara se puede recuperar a partir de esta homografía solo cuando se conocen los parámetros intrínsecos de la cámara.

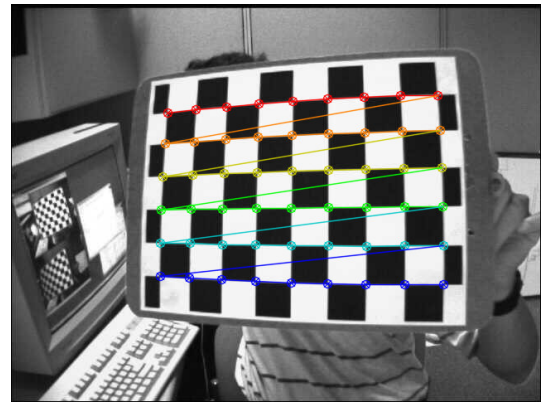


Figura 4: Tablero de ajedrez con puntos de imagen especificados. Fuente: [8]

Los puntos del objeto se pueden calcular de manera sencilla mediante las dimensiones de un cuadrado en un tablero de ajedrez. Posteriormente, los puntos de la imagen, expresados en la cámara

normalizada, se derivan de las esquinas utilizando una transformación de perspectiva inversa, que se basa en los parámetros intrínsecos y coeficientes de distorsión de la cámara.

La transformación de una imagen inicial a una vista de perspectiva deseada implica el cálculo de la homografía, donde se asignan los puntos de la imagen fuente a los puntos deseados. La complejidad de este proceso radica en lograr la correspondencia adecuada entre los puntos de la imagen original y la perspectiva objetivo que se pretende alcanzar. La figura adjunta ilustra tanto la imagen fuente (izquierda) como la representación deseada del tablero de ajedrez, destacando el desafío y la importancia de la precisa aplicación de la transformación de perspectiva.

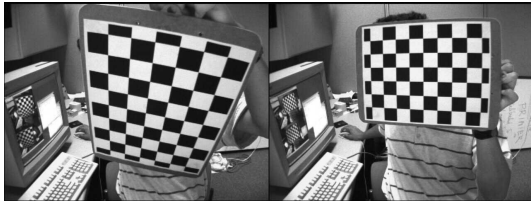


Figura 5: Imagen inicial e imagen final transformada. Fuente: [8]

### III. VISIÓN ARTIFICIAL

Se utilizó Roboflow en la construcción del modelo de visión artificial. Roboflow simplifica la carga, organización, etiquetado y procesamiento eficiente de conjuntos de datos con herramientas como Roboflow Datasets. También agiliza el entrenamiento con Roboflow Train y facilita la implementación mediante diversas opciones de despliegue en Roboflow Deploy [4].

El conjunto de datos se compuso con imágenes variadas del área de trabajo, capturadas por la cámara del proyecto. Se incluyeron fotografías propias y descargadas de internet que abarcan diversas condiciones de iluminación y posiciones, enriqueciendo así la diversidad de datos del modelo. Esto refuerza la robustez y versatilidad del conjunto de datos utilizado en la investigación [6]. Se emplearon 69 imágenes en la construcción del modelo, clasificadas en dos categorías: «eggs» y «holes» (huevos y huecos, respectivamente).

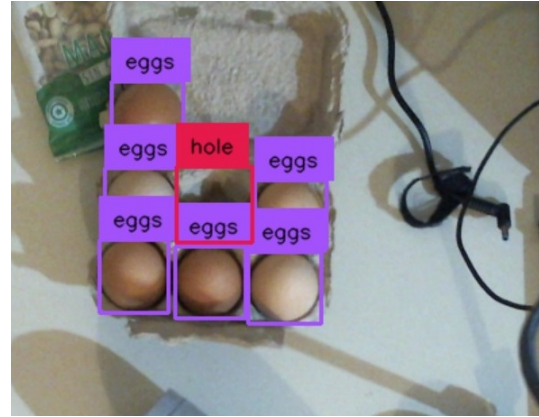


Figura 6: Visión artificial funcional. Fuente: Foto Propia

En el contexto del aprendizaje automático, la partición de datos se lleva a cabo con el propósito de prevenir el sobreajuste, una situación en la cual un modelo se adapta excesivamente a los datos de entrenamiento, comprometiendo su capacidad para generalizar a nuevos datos de manera efectiva. Para abordar esta problemática, los datos originales de un modelo de aprendizaje automático se subdividen típicamente en tres o cuatro conjuntos distintos. Esta práctica permite evaluar y validar el rendimiento del modelo de manera más fiable, garantizando su capacidad para generalizar a datos más allá del conjunto de entrenamiento inicial [5].

La partición del conjunto de datos se ejecutó distribuyendo el 87 % para el conjunto de entrenamiento, el 7 % para el conjunto de validación y el 6 % para el conjunto de prueba. Esta asignación equitativa garantiza una preparación y evaluación del modelo balanceada y representativa.

Con el fin de diversificar y mejorar la calidad del conjunto de datos, se aplicó la técnica de «augmentation». Esto implica ajustar parámetros clave, como saturación, brillo, exposición y desenfoque, en las imágenes existentes. El resultado fue 165 imágenes procesadas. Esta estrategia mejora la calidad de las imágenes y potencia la diversidad, mejorando el rendimiento en análisis y procesamiento.

El uso de «augmentation» no solo enriquece la variabilidad de los datos, sino que también potencia la capacidad del modelo para adaptarse a condiciones cambiantes en el área de trabajo, al tiempo que mitiga el riesgo de sobreajuste.

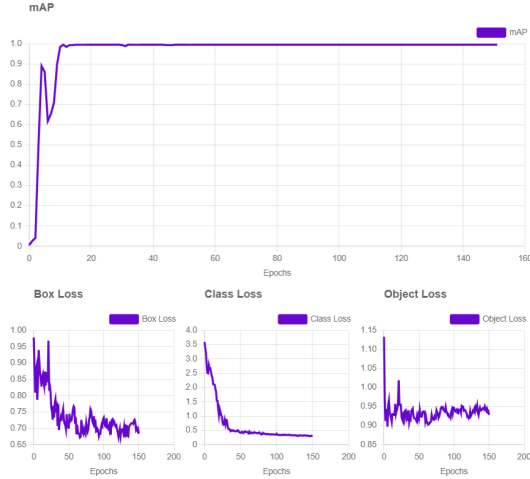


Figura 7: Gráficos de entrenamiento. Fuente: [6]

Como se ve en la Figura 7, el modelo exhibe sólidas métricas de rendimiento, con un mAP del 99.5%, que representa el promedio de la métrica de Precisión Promedio a través de todas las clases en el modelo. Asimismo, presenta una destacada precisión del 99.8%, indicando la precisión de las predicciones del modelo. Además, el recall del 100.0% subraya la capacidad del modelo para identificar con éxito un alto porcentaje de etiquetas relevantes en las predicciones.

Las predicciones con el modelo entrenado en Roboflow se realizan localmente mediante el servidor integrado en el contenedor de Docker, como recomienda la documentación de la plataforma. El servidor accede al modelo en línea la primera vez y luego almacena la información permanentemente, prescindiendo de una conexión continua a Internet para futuras predicciones. Este enfoque asegura una operación eficiente y autónoma del modelo.

#### IV. FUNCIONAMIENTO

Inicialmente, la cinta transportadora posiciona la plancha en el centro del área de trabajo. Una vez que la cámara realiza las predicciones una cantidad específica de huevos y huecos, correspondiente al tamaño de la plancha a utilizar, la cinta se detiene, facilitando así la transición a la siguiente fase del proceso de manera eficaz y precisa.

Para llevar a cabo la calibración precisa de las posiciones en el área de trabajo, se emplearon cuatro puntos coplanares, cada uno enmarcado en un círculo y distinguido por diferentes colores, los cuales sirven para darle un mayor

contraste de colores en diferentes situaciones. Estos puntos, los cuales poseen posiciones conocidas del brazo robótico SCARA previamente calibrado, desempeñaron un papel esencial en el proceso de ajuste. No solo proporcionaron una referencia visual clara, sino que también sirvieron como puntos de anclaje para determinar con exactitud las coordenadas en el espacio de trabajo.

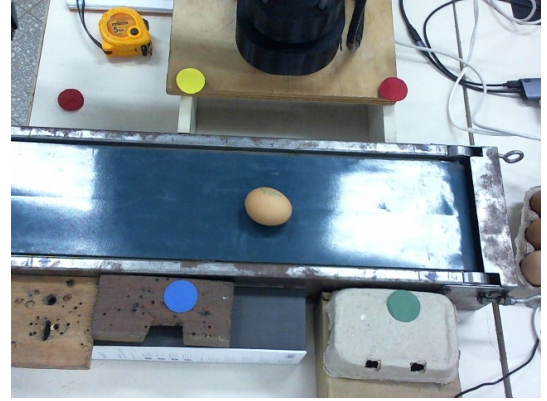


Figura 8: Área de trabajo con los puntos coplanares. Fuente: Foto Propia

La conexión entre estos puntos coloreados y las posiciones precalibradas del SCARA aseguró una calibración precisa y confiable, fundamental para la ejecución exitosa del proyecto. Este enfoque meticuloso permitió establecer una correspondencia efectiva entre las posiciones de los puntos en el área de trabajo y las coordenadas conocidas del brazo robótico, optimizando así la precisión del sistema en su conjunto.

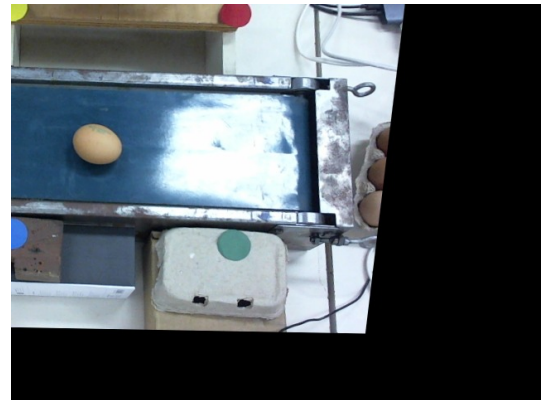


Figura 9: Área de trabajo transformada mediante homografía. Fuente: Foto Propia



Dentro de la región de trabajo delimitada por los cuatro puntos mencionados, se encuentra el objeto a procesar (como se observa en la Figura 8, un huevo), cuyo centroide debe situarse en el mismo plano que los cuatro puntos de referencia. La altura de referencia se mantiene constante.

A través del método de transformación por homografía, se pueden determinar con precisión las posiciones de los elementos dentro del área de trabajo. En este caso, se logra la detección tanto de los huevos como de los huecos, lo que permite obtener sus posiciones y facilita la identificación de huevos faltantes en los huecos detectados.

Con base en los cálculos realizados, es posible obtener posiciones referenciadas al robot (Figura 10), lo que permite ejercer control sobre el mismo para llevar a cabo la tarea deseada. Este proceso implica la ejecución de acciones específicas, como desplazarse hasta la ubicación del huevo y, posteriormente, posicionar el robot en el lugar correspondiente para colocar el huevo faltante. Tras completar la colocación de huevos en los huecos, se activa la cinta transportadora para avanzar con la siguiente plancha de huevos.

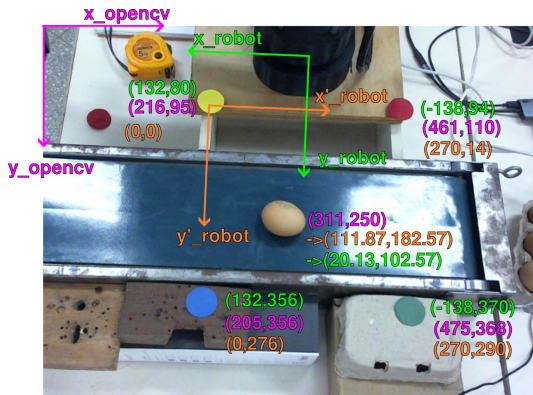


Figura 10: Ejes de los distintos planos de referencia utilizados. Fuente: Foto Propia

Con la implementación de los métodos utilizados, el tamaño y la orientación de la plancha de huevos no son un factor limitante. La plancha puede colocarse en diversas posiciones, ya sea vertical, horizontal o girada, entre otras. La visión artificial será capaz de detectar los huecos de manera consistente, independientemente de la posición de la plancha, y mediante el uso de la homografía se conocerán las posiciones exactas de

estos para su posterior completado.

## V. INTERFAZ GRÁFICA

Se desarrolló una Interfaz Gráfica de Usuario (GUI) para garantizar la accesibilidad del operador al control del proyecto.

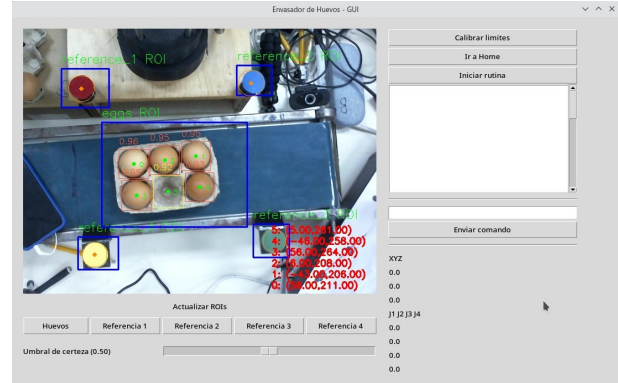


Figura 11: Interfaz gráfica utilizada para el control del proceso. Fuente: Foto Propia

La GUI posee botones específicos para realizar acciones clave, como la calibración de los límites, el retorno al punto de origen (home) y la iniciación de la rutina. Además, proporciona la flexibilidad de ajustar el umbral de certeza, permitiendo filtrar las predicciones según el porcentaje de detección deseado.

La funcionalidad de actualización de las Regiones de Interés (ROIs) se realiza de manera automática mediante botones designados, garantizando la sincronización constante de las referencias y los límites del área de trabajo.

Esta interfaz no solo ofrece una visión en tiempo real de las posiciones específicas del robot, facilitando así la calibración del área de trabajo, sino que también permite enviar comandos en código G directamente desde la interfaz. Todos los comandos enviados se registran y presentan en un área de texto para una mayor transparencia en las operaciones realizadas.

Adicionalmente, la interfaz visualiza la vista de la cámara utilizada, superponiendo coordenadas del espacio de trabajo del robot en las proyecciones y delineando cada Región de Interés (ROI) con recuadros. Esta interfaz facilita la ejecución de diversas operaciones de manera intuitiva y eficiente.

## VI. CONCLUSIONES

El proyecto de inspección de planchas de huevos mediante visión artificial ha arrojado resultados altamente positivos. El modelo entrenado ha mejorado significativamente la detección de huevos y huecos mediante la inclusión estratégica de imágenes propias y descargadas de internet, ampliadas con éxito mediante la técnica de «augmentation». Las mejoras en la estabilidad y movimiento del robot, junto con la triangulación precisa de las posiciones de los objetos mediante la cámara y la matriz de homografía, han fortalecido la precisión y versatilidad del sistema.

Además, la integración de una interfaz de usuario ha mejorado la usabilidad y control del proceso. La interfaz permite definir el área de trabajo, ajustar el porcentaje de detección y monitorizar la posición de la garra en tiempo real. Funciones adicionales, como el envío de comandos en código G para movimientos precisos, recalibración, envío a la posición de origen y reinicio de la rutina, ofrecen flexibilidad y facilidad de manejo durante la inspección de las planchas de huevos.

Estos avances no solo reflejan el éxito de la investigación, sino también la capacidad de la visión artificial y la robótica para abordar desafíos específicos en la inspección industrial. Se anticipa que estas contribuciones mejorarán la eficiencia en la producción de huevos y abrirán nuevas posibilidades para la aplicación de estas tecnologías en diversos contextos industriales.

## VII. POSIBLES MEJORAS

Para fortalecer la estabilidad, se requiere un rodamiento de mayor diámetro en la base. Contrarrestar inclinaciones de la torre debido al peso del brazo implica perfeccionar el diseño para mantener constante la posición perpendicular entre la base y la parte superior. Mejorar la rigidez se lograría usando materiales más resistentes, como nylon o, preferiblemente, aluminio, para la estructura principal.

Otra mejora posible es aumentar la cantidad de imágenes para el modelado, idealmente a nivel industrial con productos específicos de la empresa. Esto aseguraría que la visión artificial funcione con precisión en el entorno industrial. Se podría considerar agregar subdivisiones para detectar

diferentes tipos de huevos y automatizar el proceso mediante otra cinta transportadora, asegurando un suministro constante de huevos para los huecos, entre otras mejoras.

## REFERENCIAS

- [1] Dejan, *SCARA Robot - How To Build Your Own Arduino Based Robot*.  
<https://howtomechatronics.com/projects/scara-robot-how-to-build-your-own-arduino-based-robot>
- [2] StepperOnline, *Stepper Motor 17HS19-2004S1 Datasheet*.  
<https://www.omc-stepperonline.com/download/17HS19-2004S1.pdf>
- [3] Misumi, *Bujes Lineales de Bolas - Sencillo. Serie LM. (LM10UU)*.  
<https://mx.misumi-ec.com/es/vona2/detail/221000091803/?HissuCode=LM10UU>
- [4] RoboFlow, Inc., *RoboFlow Documentation*.  
<https://docs.roboflow.com/>
- [5] S. Alexander, *What is data splitting?* <https://www.techtarget.com/searchenterpriseai/definition/data-splitting>
- [6] R. Butlerov, G. Ocampos y C. Trepowski, *Inspection of egg cartons with artificial vision*.  
<https://universe.roboflow.com/robotica-2/inspection-of-egg-cartons-with-artificial-vision>
- [7] R. Butlerov, G. Ocampos y C. Trepowski, *Anexos utilizados en el desarrollo del proyecto*.  
<https://drive.google.com/drive/folders/15UmYrjZltqrTnkP1F8BeJp0jh40n9G24>
- [8] OpenCV, *Basic concepts of the homography explained with code*.  
[https://docs.opencv.org/4.x/d9/dab/tutorial\\_homography.html](https://docs.opencv.org/4.x/d9/dab/tutorial_homography.html)

## ANEXOS

### I. Firmware de control y otros archivos

El código completo del firmware, la interfaz gráfica, así como otros archivos importantes, pueden ser encontrado en la referencia de este documento [7].