

"AÑO DEL FORTALECIMIENTO DE LA SOBERANÍA NACIONAL "



UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN DEL CURSO DE CONTROL DE ROBOTS

**SIMULACIÓN Y DISEÑO DE UN ROBOT ANTROPOMÓRFICO DE 6 GDL
RECOLECTOR DE FRUTAS DEFECTUOSAS**

ASESOR:

CORNEJO AGUILAR JOSE LUIS

AUTORES:

ARQUIÑEGO RAMIREZ BRYAN BRANDON

GONZALES ACUÑA JHON ANTHONY

LIMA – PERÚ

2022

ABSTRACT

La población en Lima Metropolitana está en constante crecimiento (aumento de natalidad y migración), lo que conlleva que en la capital se requiera una gran demanda de alimentos importados de provincia provocando incapacidad en el control de calidad y deterioro de frutos. Por ello, se producen grandes pérdidas y desconfianza en los consumidores. Esta investigación, realizada bajo la supervisión de la Escuela de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Ricardo Palma, pretende diseñar un robot antropomórfico que seleccione frutas en mal estado y que las aisle, de tal manera que no contamine parcial o totalmente la producción en la industria como, también, en los mercados mayoristas. El robot consta de un brazo de seis grados de libertad sumamente ligero en conjunto de sensores especializados para el reconocimiento biológico y aproximación, que, a través de sus tres orientaciones realizadas mediante su gripper, especialmente diseñado para esta función, sujetará eficientemente el fruto a una velocidad requerida del tiempo necesario para trabajar en dicho sector alimenticio. Cuenta con un diseño conceptual mecatrónico utilizando SolidWorks para el desarrollo de los sistemas mecánicos 3D. También se usará Matlab y CoppeliaSim para la simulación de pruebas del área de trabajo. En conclusión, se busca que los vendedores brinden frutas de alta calidad y ser reconocido a nivel internacional, de esa manera, obtener certificados de reconocimientos como la ISO 22000 por su gran labor y buscar apostar dicha tecnología en esta industria del país. Tras realizarse las pruebas de diseño y simulación, se han obtenido resultados favorables.

Palabras clave— Robot antropomórfico, sensor, detección, industria de frutas, alta calidad, ISO 22000.

I. INTRODUCCIÓN

Las grandes ciudades como Lima Metropolitana, está en constante crecimiento y volumen de población-migración desde 1940, en el 2021 se registraron más de 9 millones 7 mil 868 habitantes, que representan el 29,6% de la población del Perú, y va en aumento [1]. Como también en los precios de consumidor que aumentaron en un 0,96% en abril de 2022 referentes a alimentos de acuerdo a datos estadísticos de INEI [2]. Por ello, se necesitará un control de calidad mucho más grande y eficiente en la industria de alimentos. Como consecuencia, hay que tener un concepto general de la preservación de los alimentos para prevenir o evitar el desarrollo de microorganismos (bacterias, levaduras y mohos), esto a fin de que no se dañe durante el proceso de almacenaje. Para el procesamiento correcto de las frutas o de materias primas, se tiene que pasar por operaciones preliminares (recolección, lavado y seleccionado, escaldado entre otros). Por ello, la fruta tiene que ser procesada lo antes posible (entre 4 y 48 horas después de la cosecha), para que, de esta manera, se pueda evitar el deterioro [3].

Para la ejecución de la trayectoria que realizará el brazo robótico de 6 DOF, nos basamos en el robot "ReRob", aplicados en el sector industrial, se caracterizan por tener una estructura antropomórfica serial, este brazo cuenta con dos DOF en el hombro, uno en el codo y tres en la muñeca [3]. Para la parte del gripper, estará enfocada en "Adroit of HDT", ya que este robot cuenta con una alta precisión en el agarre, esto debido al acoplamiento del sistema de engranajes variados que cuenta en el sistema de transmisión de la mano [4]. En cuanto a la seguridad y prevención de que pueda suceder una posible interrupción del humano con el robot en el trabajo, estará basada en el robot "EPSON VT6", esto se da debido a que aplica la técnica experimental de aprendizaje Deep Reinforcement Learning (DRL) [5]. En la parte del desarrollo de análisis cinemático, está basado de un brazo robótico que clasifica las frutas "lulos", esto debido a que aplica el algoritmo de Denavit Hartenberg, utilizando métodos matriciales [6]. Por consiguiente, para la parte cinemática del gripper, se refuerza ideas con el modelo cuántico directo basado en quaternion de un brazo robótico "140 ABB" [7]. En cuanto a la detección y clasificación de las frutas

para su recolección, nos orientamos en el sistema de monitorización “Dasnet” y para la clasificación de colores en el algoritmo de Naive Bayes Classifier [8].

En cuanto al diseño a proponer, consta de un robot manipulador antropomórfico que tendrá 6 grados de libertad, el cual cubrirá un área determinada para hacer la tarea de selección de frutas defectuosas y poder aislarlas de las demás. [9]. El innovador robot tendrá un sensor de aproximación, como también, uno especializado para el sector biológico para la detección. El gripper, es un soft robotics con tres orientaciones, está diseñado para examinar y sujetar eficientemente el fruto a una velocidad requerida del tiempo necesario para trabajar [10].

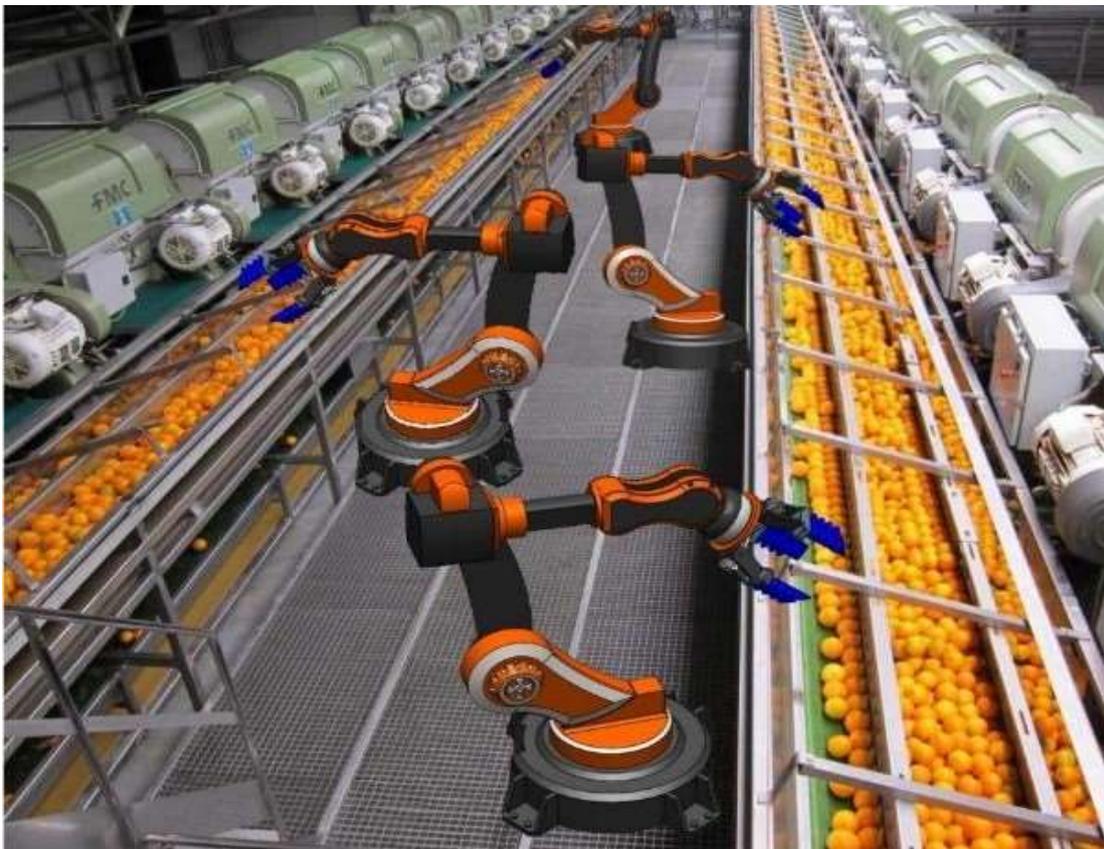


Fig.1 Robot aplicado en la industria de recolección

II. MATERIALES Y MÉTODOS

a) Diseño mecánico y mecatrónico

El robot antropomórfico a proponer está diseñado en el software de Solidworks, cuya parte mecánica está desarrollado con un chasis fabricado del material de aluminio con una aleación de fibra de carbono y acero [12]. A todo el brazo lo sostiene una base fija que dará la estabilidad necesaria para cualquier movimiento realizado por los eslabones y un correcto agarre de la pinza soft robotics [13]. En la siguiente imagen vemos al robot propuesto para la industria de alimentos.

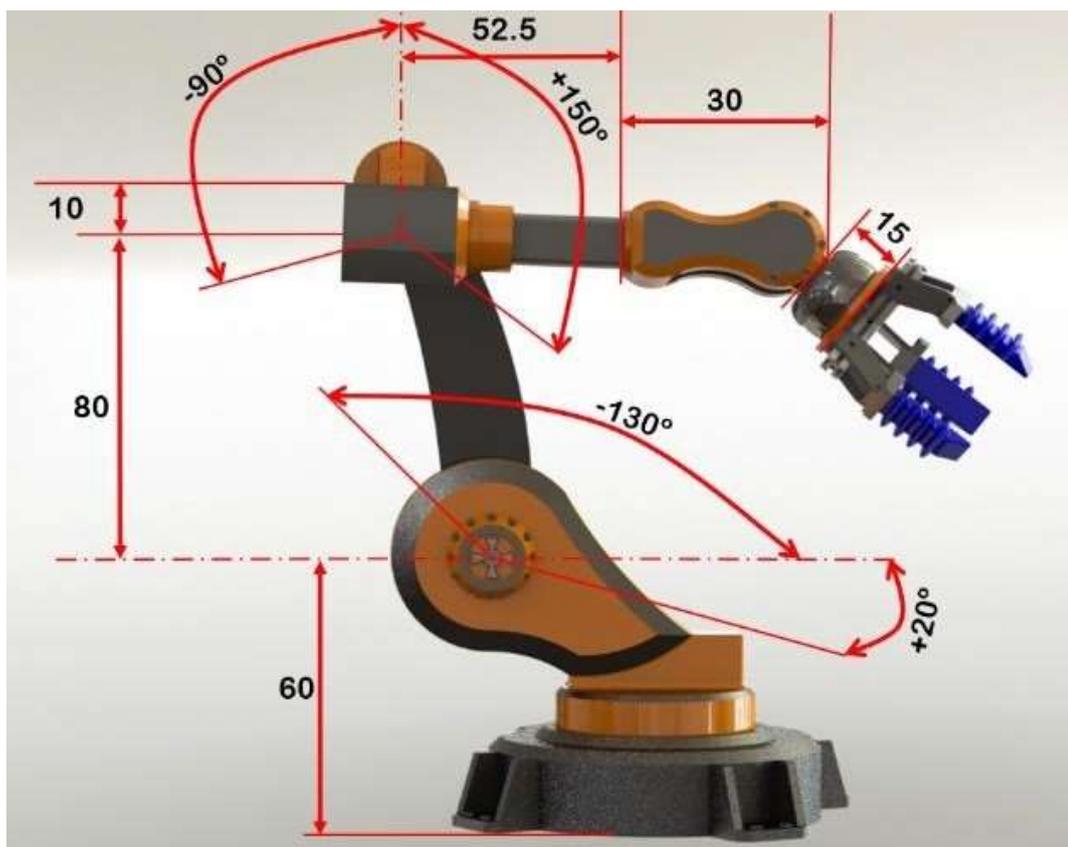


Fig. 2 Chasis del robot antropomórfico

De acuerdo a la definición realizada por el autor, “esta parte de la Norma ISO 10218 especifica los requisitos y las directrices para un diseño inherentemente seguro, las medidas de protección y la información para el uso de robots industriales. La norma describe los riesgos básicos asociados con los robots y proporciona los requisitos para eliminar o reducir adecuadamente los peligros asociados con estos riesgos. Esta parte de la Norma ISO 10218 no trata el robot como una máquina completa”. [11]

La base fija del modelo tiene una dimensión circular mayor y una menor de 300mm y 220mm de diámetro con un espesor de 75 mm y 9mm sobre la primera respectivamente. También posee 4 fijadores a cada 90° de la circunferencia para un mayor agarre a la superficie en la cual va a estar situada [16]. Tiene un elemento de encaje para la base del primer eslabón lo que nos proporciona una mayor seguridad a la hora de los movimientos que realizará. En la figura 3 se puede apreciar las dimensiones exactas de la base estática.

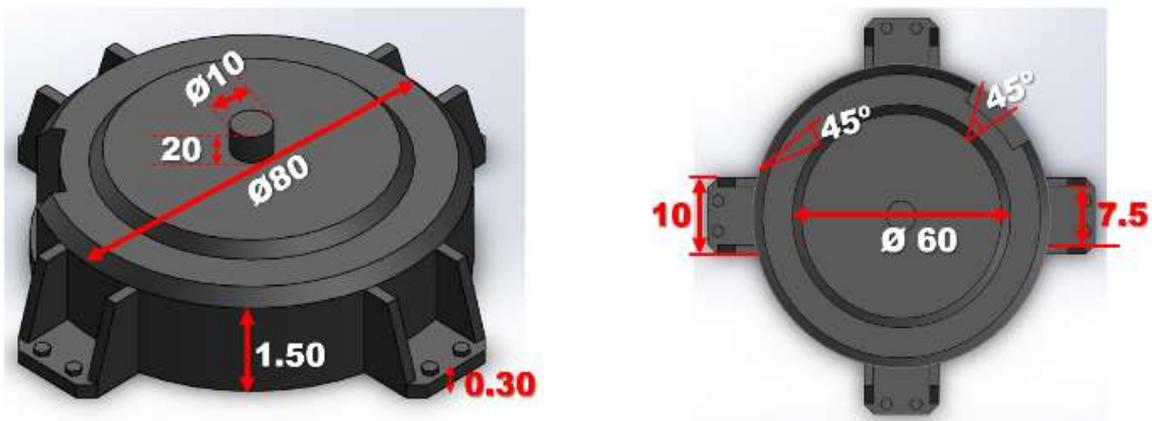


Fig. 3 Dimensionado de la base

Para el movimiento de los eslabones se utilizó el motor Dynamixel Pro H54 de 24V con una salida de potencia de 100W de dimensiones 54*54*108 mm [14]. Las partes del brazo (eslabones) tienen una estructura ideal para cada movimiento. El primer eslabón tiene un diseño con un ángulo de inclinación de 130° que permite al segundo eslabón tener una mayor libertad de movimiento, no obstante, este último es incapaz de girar 90° sobre su eje. Cabe resaltar que los eslabones y articulaciones realizados en este robot hacen realidad que este sea de 6 DOF [15].

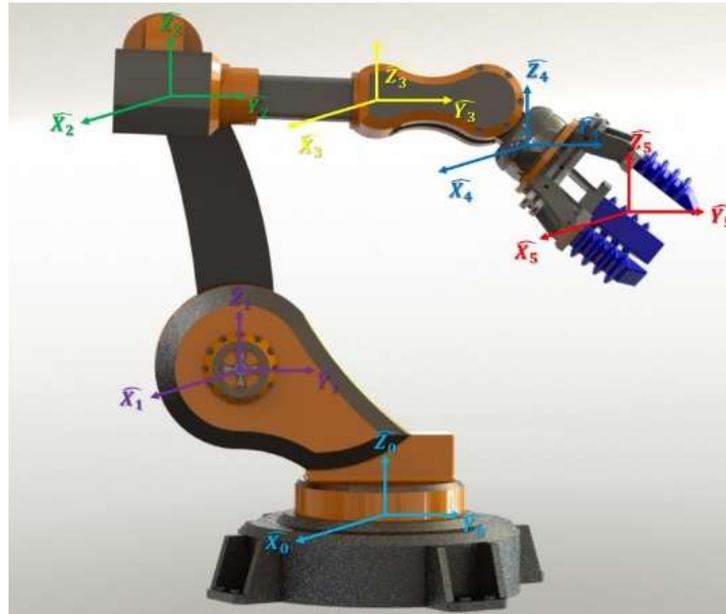


Fig. 4 Sistemas de referencias

Para la parte de la pinza se ha desarrollado un modelo sofisticado, tal que permita un agarre ideal para la fruta. También cabe mencionar que el material de este ya no sería de aluminio o una aleación de fibra de carbono y acero, sino más orientado a un plástico duro para que cumpla correctamente su función (sujetar de manera eficaz la fruta) [17]. Este modelo está referenciado en el tipo de pinza Soft Robotic Grippers, el cual escogen alimentos de los contenedores y los colocan en bandejas, hasta aplicaciones de colaboración en las que es fundamental un entorno de trabajo seguro. El material que se utilizó en esta parte, fueron polímeros electroactivos cuyo módulo de elasticidad está en el orden de 102-106 Pa.



Fig. 5 Agarres especiales del gripper

Además, el modelo se ajusta para que el biosensor escogido tenga un lugar estratégico dentro de ella y, así, pueda registrar si la fruta es o no descartada [18]. En la parte inicial de la pinza se observarán los agujeros respectivos para los tornillos que lo sujetarán con la parte anterior a esta (parte 6). En la siguiente figura mostraremos las dimensiones del tornillo y el gripper.

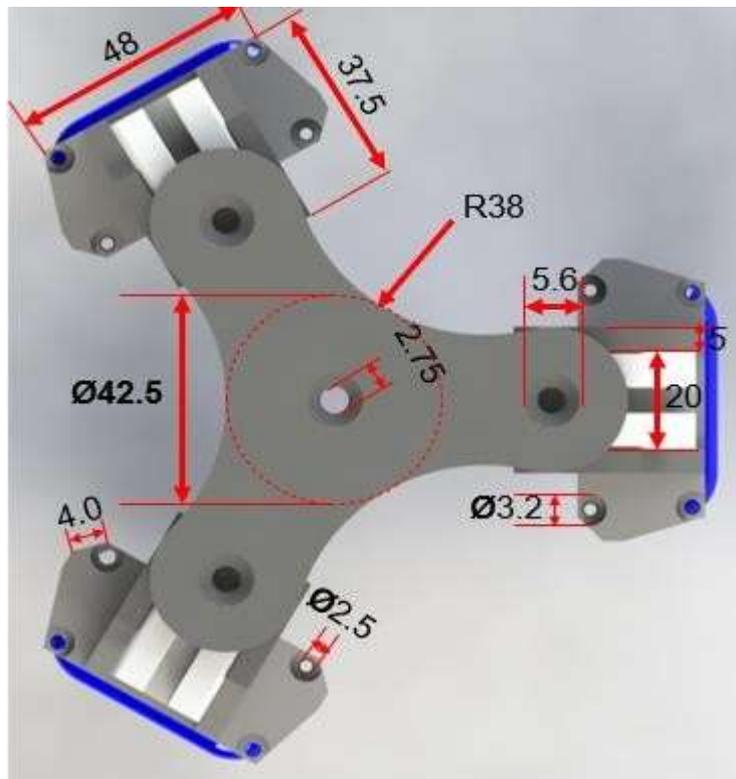


Fig. 6 Dimensionado del gripper (vista superior)

b) Análisis estático

En esta parte se ha utilizado el software de Solidworks el cual nos brinda el análisis de la deformación de la pieza y de la misma manera nos muestra la gráfica con el método de Von Mises que nos informa cuál es la deformación de un material con una fuerza aplicada en MPa. Se puede observar en las siguientes figuras que el color rojo representa que hay una mayor deformación en la zona marcada de la pieza, mientras el color azul muestra una menor deformación. De igual manera se considera el análisis de desplazamiento.

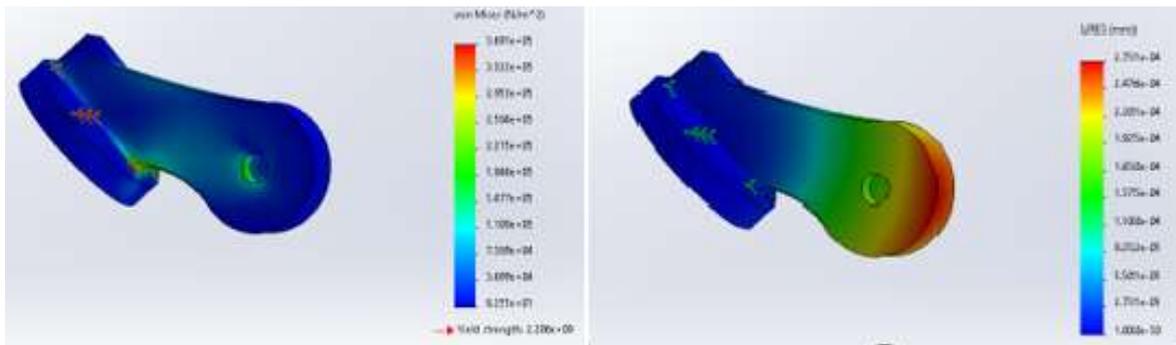


Fig. 5 Análisis estático de la pieza 2

III. SIMULACIÓN

A continuación, se mostrarán los recursos digitales con los que se ha trabajado, abordando en ellos 2 programas esenciales: Matlab y CoppeliaSim.

El toolbox de robótica de Matlab que brinda facilidades para poder realizar el movimiento de cada articulación de un robot. En la simulación en Matlab se ha realizado un movimiento rotacional de 180° del primer eslabón sobre su propio eje, demostrando el movimiento que realiza el robot propuesto en esta investigación con respecto a la primera articulación. Esta simulación necesita saber los parámetros de Denavit Hartenberg, en el cual, se introducen los valores correspondientes a las longitudes de las articulaciones y, a su vez, las respectivas ubicaciones. Después de ello, se asigna el comando "Rob = SerialLink" para poder unir los elementos anteriores. Luego, pondremos los parámetros iniciales de los "q" de cada articulación para que con el comando "Rob.fkine" nos muestre la matriz de la transformación directa. En la figura 7 se puede observar la simulación de un robot de 6 GDL.

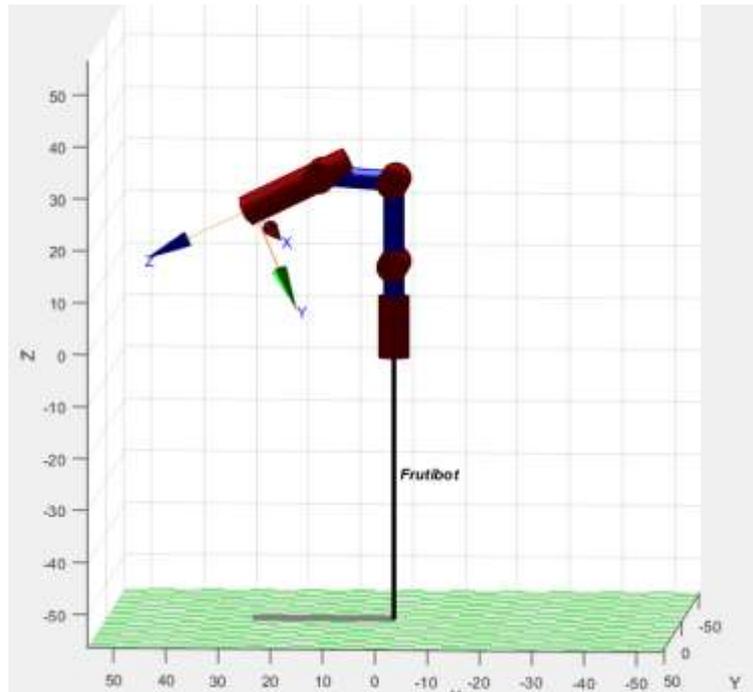


Fig. 7 Posición inicial del robot

Para poder terminar de realizar el movimiento del robot se necesita de un comando adicional el cual será "syms", el cual mostrará la matriz general y seguidamente de un "for" que permitirá verificar los movimientos que, por consecuencia, mostrará una animación del recorrido. Entonces se utiliza como punto inicial cero y punto final pi con un paso de 0.1. La figura 8 mostrará la posición final de robot después que la primera articulación haga un giro de 180°.

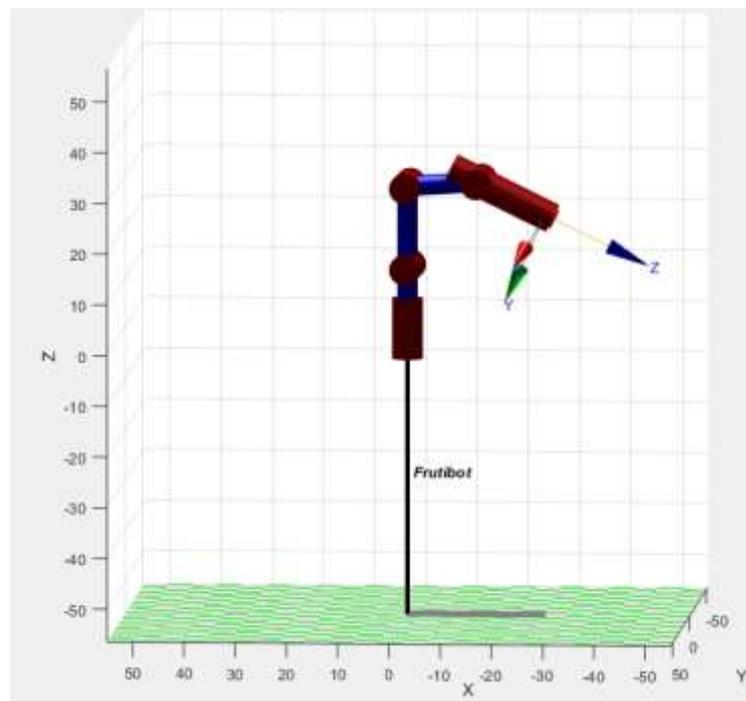


Fig. 8 Posición final del recorrido

Lo diseñado en CoppeliaSim se muestra el área de trabajo de una industria de frutas. Se encuentra el área de trabajo dónde los robots antropomórficos se encuentran trabajando seleccionando solamente los frutos defectuosos y colocándolos en un recipiente o caja. Por último, se puede apreciar la interacción de sensores de reconocimientos capacitados en la rama de la biología y de aproximación, como también una cámara Kinect todo esto para cada brazo robótico.

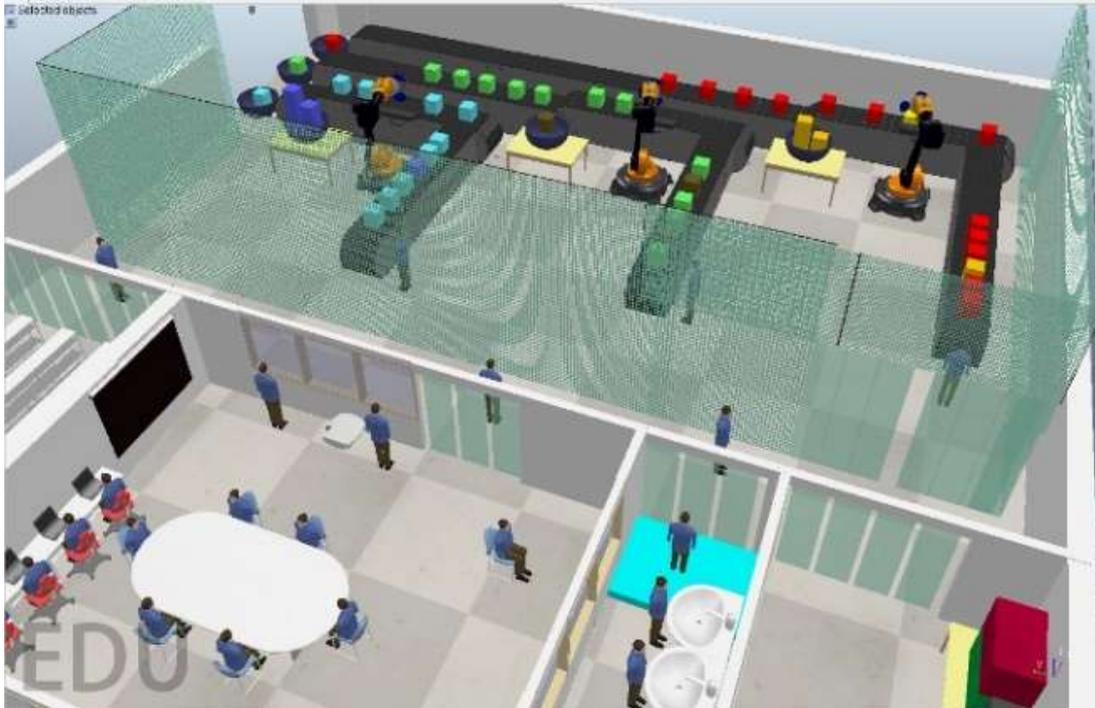


Fig. 9 Simulación en CoppeliaSim

Para realizar la simulación del brazo robótico y su entorno, primero se realizan los parámetros de la cinta transportadora, para ello, tiene que calibrarse la velocidad con "beltSpeed", también programar el tiempo en insertado de las cajas. Luego de ello, vendría la parte de programación de los sensores de proximidad, que cumple su tarea, de una vez detectado el objeto en mal estado, se detiene la faja y el brazo robótico transporta la caja al siguiente "Dummy". Y si el sensor no lo detecta, entonces la cinta va a seguir transportando hasta que aparezca una caja defectuosa y lo detecte, esto de manera repetitiva. Luego vendría la función de remover el objeto("removeFirstObject()"), es cuando ya la caja es detectada por el sensor y la cinta se detiene, el brazo la alza y la transporta al recipiente, luego vuelve el brazo y continua su tarea.

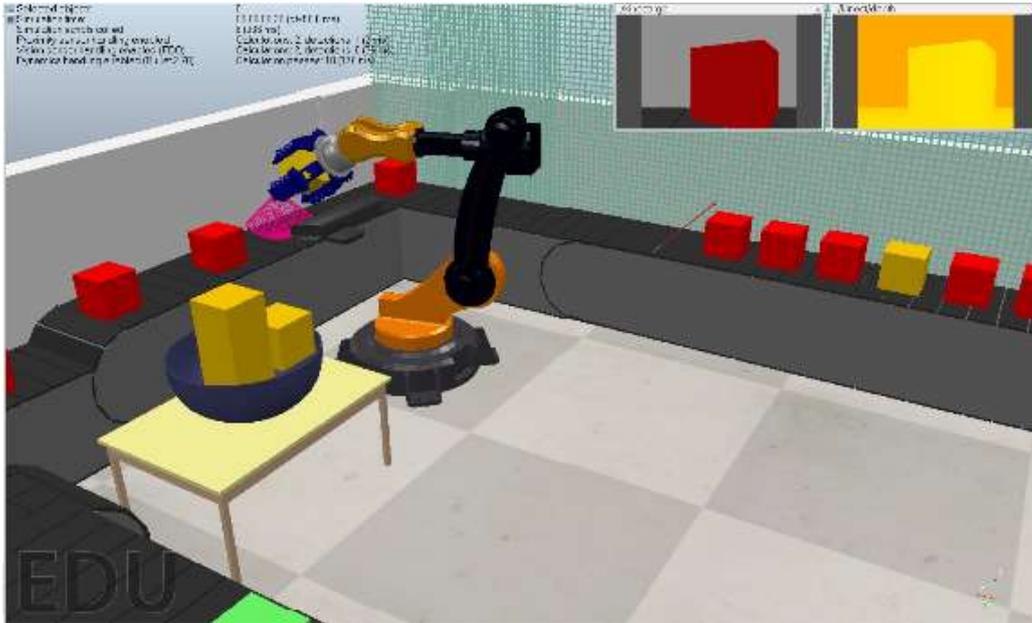


Fig. 10 Área específica de trabajo del robot

IV. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos mediante el análisis gráfico arrojados por Matlab de cómo interactúa el brazo robótico referentes a los movimientos que realiza, como también para la parte de Coppeliasim hacia el entorno o área de trabajo en la que se encuentra, como también la correcta simulación sobre su reconocimiento en el campo creado de área de trabajo y en la detección de los sensores, ya que, como se puede ver, el brazo detectó y se observa que transporta al recipiente. También se puede observar que la velocidad que se le puso a la faja transportadora, no está alterando el proceso, es decir, están adecuadas para el funcionamiento porque si vendrían más rápido, estas se podrían caer. Por ello, que se puede llegar a la conclusión de que los resultados fueron óptimos a lo que se estaba buscando en esta investigación.

En un futuro trabajo para nuestra investigación, para el área de trabajo, se planea agregar un robot delta con cuatro eslabones, encargado para el orden del empaquetado de los productos, esto debido a su rápida velocidad en el trabajo, muy esenciales para cargar objetos no pesados como son las frutas, cabe mencionar que, para ello, también contará con un gripper de modelo "soft robotics" para obtener el agarre correcto y eficiente de las frutas, y así no dañar la producción.

REFERENCIAS

- [1] Instituto Nacional de Estadística e Informática-INEI (2021). Crecimiento de ciudades. Pag.30
https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1803/libro.pdf. [Consulta: 28 de junio de 2022]
- [2] Instituto Nacional de Estadística e Informática-INEI (2022). Precios al consumidor de Lima Metropolitana aumentaron 0,96% en abril de 2022.
<https://m.inei.gob.pe/prensa/noticias/precios-al-consumidor-de-lima-metropolitana-aumentaron-096-en-abril-de-2022-13566/>. [Consulta: 28 de junio de 2022]
- [3] Paltrinieri, F., Figuerola, F., Rojas, L.(1993). Procesamiento de frutas y hortalizas mediante métodos artesanales y de pequeña escala. Oficina Regional de la FAO para América Latina y El Caribe. FAO, Viale delle Terme di Caracalla.
- [4] Avram, O., & Valente, A. (2016). Trajectory Planning for Reconfigurable Industrial Robots Designed to Operate in a High Precision Manufacturing Industry. *Procedia CIRP*, 57, 461–466. doi:10.1016/j.procir.2016.11.080
- [5] Spadafora, F., Muzzupappa, M., Bruno, F., Ribas, D., & Ridao, P. (2015). Design and Construction of a Robot Hand Prototype for Underwater Applications. *IFAC-PapersOnLine*, 48(2), 294–299. doi:10.1016/j.ifacol.2015.06.048
- [6] Incremona, G., Sacchi, N., Sangiovanni B., Ferrara A. (2021). Experimental Assessment of Deep Reinforcement Learning for Robot Obstacle Avoidance: A LPV Control Perspective. *IFAC-PapersOnLine*, 54(8), 89-94. doi:10.1016/j.ifacol.2021.08.586
- [7] Contreras P., Peña C., & Riaño C. (2014). Robotic Module for Lulo (*Solanum Quitoense*). Classification Using Computer Vision. *IFAC-PapersOnLine*, 10(10), 51-62.
- [8] Fazila, M., Zioui, N., St-Arnaud J. (2022). A novel quantum model of forward kinematics based on quaternion/Pauli gate equivalence: Application to a six-jointed industrial robotic arm. *IFAC-PapersOnLine*, 14. doi: 10.1016/j.rineng.2022.100402

- [9] Kang, & Chen. (2019). Fruit Detection and Segmentation for Apple Harvesting Using Visual Sensor in Orchards. *Sensors*, 19(20), 4599. doi:10.3390/s19204599
- [10] Arbo, M. H., Eriksen, I., Sanfilippo, F., & Gravdahl, J. T. (2020). Comparison of KVP and RSI for Controlling KUKA Robots Over ROS. *IFAC-PapersOnLine*, 53(2), 9841–9846. doi:10.1016/j.ifacol.2020.12.2688
- [11] Xiao, W., Liu, C., Hu, D., Yang G., Han, X. (2022). Soft robotic surface enhances the grasping adaptability and reliability of pneumatic grippers. *FAC-PapersOnLine*, 2019. doi:10.1016/j.ijmecsci.2022.107094
- [12] Filoteo Razo, J., Estudillo Ayala, J., Hernández García, J., Jáuregui Vázquez, D., Rojas Laguna, R., Valle Atilano, F. y Sámano Aguilar, L.(2016). Sensor RGB para detectar cambios de color en piel de frutas. Universidad de Guanajuato. Guanajuato, México. <https://www.redalyc.org/pdf/416/41648312006.pdf>
- [13] BONELLS J. (2022). Algunas frutas tropicales. Jardines sin fronteras. WORDPRESS.COM. <https://jardinessinfronteras.com/2017/12/12/algunas-frutas-tropicales/> I. S. Jacobs and C. P. Bean, “Fine particles, thin films and exchange anisotropy,” in *Magnetism*, vol. III, G. T. Rado and H. Suhl, Eds. New York: Academic, 1963, pp. 271–350.
- [14] Baeten, J., Donné, K., Boedrij, S., Beckers, W., Claesen, E. (2008). Recolectora de frutas autónoma: una cosechadora robótica de manzanas. En: Laugier, C., Siegwart, R. (eds) *Robótica de campo y servicio*. Springer Tracts in Advanced Robotics, vol 42. Springer, Berlín, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-75404-6_51
- [15] Tondu, B., Ippolito, S., Guiochet, J., & Daidie, A. (2005). A seven- degrees-of-freedom robot-arm driven by pneumatic artificial muscles for humanoid robots. *The International Journal of Robotics Research*, 24(4), 257-274.
- [16] Lim, S. C., & Yeap, G. H. (2012). The locomotion of bipedal walking robot with six degree of freedom. *Procedia Engineering*, 41, 8-14.
- [17] Robótica (2015). *Dynamixel Pro*. Dynamixel pro H54-100-S500-R pag. 2.
- [18] Kang, Z. H., Cheng, C. A., & Huang, H. P. (2019). A singularity handling algorithm based on operational space control for six-degree- of-freedom

- anthropomorphic manipulators. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 16(3), 1729881419858910.
- [19] Osawa, H., Mukai, J., & Imai, M. (2006, September). Anthropomorphization of an object by displaying robot. In *ROMAN 2006-The 15th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication* (pp. 763-768). IEEE.
- [20] Robots and robotics devices. Safety requirements for industrial robots. Part 1: Robots. (ISO 10218-1:2011)
- [21] Polishchuk, M. (2019). Anthropomorphic gripping device for an industrial robot: design and calculation of parameters. *SN Applied Sciences*, 1(5), 1-9.
- [22] Pardo-Alonso, J. L., Carreño-Ortega, Á., Martínez-Gaitán, C. C., Golasi, I., & Gómez Galán, M. (2019). Conventional industrial robotics applied to the process of tomato grafting using the splicing technique. *Agronomy*, 9(12), 880.
- [23] Scarfe, A. J., Flemmer, R. C., Bakker, H. H., & Flemmer, C. L. (2009, February). Development of an autonomous kiwifruit picking robot. In *2009 4th International Conference on Autonomous Robots and Agents* (pp. 380-384). IEEE.
- [24] Bac, C. W., Van Henten, E. J., Hemming, J., & Edan, Y. (2014). Harvesting robots for high-value crops: State-of-the-art review and challenges ahead. *Journal of Field Robotics*, 31(6), 888-911.
- [25] Van Henten, E. J., Van't Slot, D. A., Hol, C. W. J., & Van Willigenburg, L. G. (2009). Optimal manipulator design for a cucumber harvesting robot. *Computers and electronics in agriculture*, 65(2), 247-257.

Link del video :

https://www.youtube.com/watch?v=MDngcx_H_a0