

ROBOT MANIPULADOR CON VISIÓN ARTIFICIAL

MANIPULATOR ROBOT WITH ARTIFICIAL VISION

Caballero Julián Franco Gabriel¹, Pérez Solano Miguel Ángel², Hernández Sánchez César³,
Ordoñez Gonzaga Lidia Yanet⁴, Matus Merino Carlos Alberto⁵

¹Maestro en Ciencias. Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Oaxaca, Departamento de Ingeniería Electrónica. Correo electrónico: franco.caballero@itoaxaca.edu.mx, teléfono: 951 1346062. Dirección: Av. Ing. Víctor Bravo Ahuja 125, esq. Calz. Tecnológico; Oaxaca, Oax., CP 68000.

²Maestro en Educación. Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Oaxaca, Departamento de Ingeniería Electrónica. Correo electrónico: miguel.solano@itoaxaca.edu.mx, teléfono: 9511065627. Dirección: Av. Ing. Víctor Bravo Ahuja 125, esq. Calz. Tecnológico; Oaxaca, Oax., CP 68000.

³Maestro en Ciencias. Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Oaxaca, Departamento de Ingeniería Electrónica. Correo electrónico: cesar.hernandez@itoaxaca.edu.mx, teléfono: 9511959974. Dirección: Av. Ing. Víctor Bravo Ahuja 125, esq. Calz. Tecnológico; Oaxaca, Oax., CP 68000.

⁴Maestra en Ciencias. Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Oaxaca, Departamento de Ciencias Económico-Administrativas. Correo electrónico: lidia.og@itoaxaca.edu.mx, teléfono: 9516483855. Dirección: Av. Ing. Víctor Bravo Ahuja 125, esq. Calz. Tecnológico; Oaxaca, Oax., CP 68000.

⁵Estudiante. Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Oaxaca, Departamento de Ingeniería Electrónica. Correo electrónico: 118160593@oaxaca.tecnm.mx, teléfono: 951 439 0502. Dirección: Av. Ing. Víctor Bravo Ahuja 125, esq. Calz. Tecnológico; Oaxaca, Oax., CP 68000.

Resumen - - En este trabajo se presentan los resultados parciales alcanzados en el proyecto de construcción de un *Robot Manipulador* [1] y diseño de aplicaciones para dotarlo de capacidades de *Visión Artificial* por medio de una cámara de vídeo para operaciones con frutos y semillas en la industria agrícola y de los alimentos. El alcance de este artículo es su construcción. Entre otras opciones, elegimos una estructura de la marca *DAUERHAFT* que incluye los servomotores, de los cuales sólo se dejan los que representan *3 DOF* y se deshabilitan los demás. También se deja la pinza. Se dejan las articulaciones que caracterizan las operaciones de giro (*roll*), elevación (*pitch*) y desviación (*yaw*) [2], en similitud con la anatomía del ser humano los eslabones del tronco o cintura, del hombro y del codo, la referencia son el robot *Cincinnati Milacron T³* y el robot *PUMA de Unimation*[3].

El sistema digital elegido es un arreglo maestro- esclavo, en el que el maestro es una computadora PC laptop programable en lenguaje *Python* con interface *USB* al esclavo, una tarjeta de desarrollo *Arduino Mega* que con una fuente de voltaje soporte conecta directamente con los servomotores y los potenciómetros. En cada una de las tres articulaciones se adaptaron sistemas de engranes que transmiten el movimiento a potenciómetros de 100kOhms para que por medio de una relación desplazamiento-voltaje se tenga la posición de cada eslabón.

Por medio de una interfaz en *Python*, es posible la manipulación individual de cada uno de los servomotores. Se proporciona la posición destino y suavemente el mecanismo alcanza su punto final.

También está hecho en forma aislada el entrenamiento del tratamiento de imágenes para reconocimiento de colores, objetos y contornos. La segunda parte de este proyecto, el trabajo futuro en curso; es unir esos dos subsistemas y el desarrollo de aplicaciones por medio de movimientos con *cinemática inversa* [4].

Palabras clave: Arduino Mega, control, Python, robot, Visión Artificial.

Abstract - - This paper presents the partial results achieved in the project for the construction of a *Robot Manipulator* and the design of applications to provide it with *Artificial Vision* capabilities by means of a video camera for fruit and seed operations in the agricultural and food industry. The scope of this article is its construction. Among other options, we chose a *DAUERHAFT* brand structure that includes the servomotors, of which only those that represent *3 DOF* are left and the others are disabled. The clamp is also left. The joints that characterize the operations of turning (*roll*), elevation (*pitch*) and deviation (*yaw*) are left, in similarity with the anatomy of the human being the links of the trunk or waist, of the shoulder and of the elbow, the reference is the robot *Cincinnati Milacron T³* and the *PUMA* robot from *Unimation*.

The chosen digital system is a master-slave arrangement in which the master is a PC laptop computer programmable in *Python* language with *USB* interface to the slave, an *Arduino Mega* development board that with a support voltage source connects directly with the servomotors and the potentiometers.

In each of the three joints, gear systems that transmit the movement to 100kOhm potentiometers were adapted so that, through a displacement-voltage relationship, the position of each link is obtained.

Through an interface in *Python*, individual manipulation of each of the servomotors is possible. The target position is provided and smoothly the mechanism reaches its end point.

Image processing training for color, object and contour recognition is also done in isolation. The second part of this project, the future work in progress; is to unite these two subsystems and the development of applications through movements with *inverse kinematics*.

Key Words - - Arduino Mega, control, Python, robot, Artificial vision.

INTRODUCCIÓN

El sueño de las primeras generaciones de ingenieros, fabricantes y científicos que tuvieron el privilegio de conocer de cerca los principios y funcionamiento de los motores eléctricos producto del gran legado de *Nikola Tesla* al final del siglo XIX[5], asociado al desarrollo vertiginoso de la electrónica de potencia, los circuitos integrados y más tarde las computadoras y los sistemas embebidos en la segunda mitad del siglo pasado; es la automatización de los procesos y la robótica.

Por medio de la automatización se busca que las tareas repetitivas en el sector de los servicios y en la industria de manufactura se realicen con dispositivos que sustituyan el trabajo y el esfuerzo humano. En el pasado, el enfoque inicial era posible solamente de acuerdo a la tecnología que estaba disponible, aunque en mente ya se tuvieran aplicaciones más ambiciosas; ahora se abren nuevas oportunidades en los ámbitos social, de compañía; educativo, en el aprendizaje; doméstico, en las tareas del hogar; de terapia física, en rehabilitación; médico, en cirugía; en aplicaciones espaciales, científicas y en la industria bélica.

El concepto “*robot*” sugiere desde su origen hasta la actualidad en un contexto muy amplio un artefacto que integra componentes mecánicos, eléctricos, sensores, computadoras, sistemas embebidos, e *Inteligencia Artificial* [6,7] para realizar tareas simples repetitivas, para hacer operaciones de precisión, para sustituir al ser humano en tareas de alto riesgo. La palabra robot tiene su origen en el idioma inglés desde el año 1921 desde un concepto en el que ya se pensaba en su similitud con los seres humanos con la característica de que pueden trabajar sin descanso, algo que sólo quedaba en la imaginación en ese tiempo pero que en nuestros días se acerca más a la realidad con las nuevas tecnologías.

En la actualidad, hay una gran variedad de robots en el mercado, solamente tenemos que definir las tareas que va a realizar y especificar las características técnicas para buscar entre los distintos fabricantes algunos modelos apropiados dentro de la capacidad económica del comprador para adquirirlos.

Lo que sigue es su compra, instalación, capacitación y un estudio muy exhaustivo de sus manuales de operación y de servicio para su uso adecuado y mantenimiento oportuno.

Primero fueron los robots cuya operación respondía a puros sensores, aunque desde el año 1968 en el *Stanford Artificial Intelligence Laboratory* se desarrolló una computadora que tenía ojos por medio de cámaras de TV[2], esto es *Visión Artificial*. La *Inteligencia Artificial* y la *Visión Artificial* hacen que en la actualidad se puedan crear artefactos que puedan estar dotados de las mismas capacidades de algunos seres vivientes, incluso el ser humano y se les utiliza en entornos recreativos, como asistentes personales, en el cuidado de la salud, en la industria automotriz, en la industria bélica, en la industria espacial, etc.

La *Federación Internacional de Robótica (IFR)* distingue entre robot industrial de manipulación y otros robots: Por robot industrial de manipulación [8] se entiende a una máquina de manipulación automática, reprogramable y multifuncional con tres o más ejes que pueden posicionar y orientar materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales para la ejecución de trabajos diversos en las diferentes etapas de la producción industrial, ya sea en una posición fija o en movimiento. En esta definición se debe entender que la reprogramabilidad y multifunción se consigue sin modificaciones físicas del robot.

Común en todas las definiciones es la aceptación del robot industrial como un brazo mecánico con capacidad de manipulación y que incorpora un control más o menos complejo. Un sistema robotizado, en cambio, es un concepto más amplio. Engloba todos aquellos dispositivos que realizan tareas de forma automática en sustitución de un ser humano y que pueden incorporar o no a uno o varios robots, siendo esto último lo más frecuente.

El objetivo principal de este prototipo de brazo robótico manipulador es diseñar y construir un sistema de automatización capaz de realizar tareas de agarre, manipulación, posicionamiento de objetos de manera precisa y eficiente [9]. El prototipo busca emular el comportamiento y funcionalidad de un brazo humano, permitiendo la ejecución de diversas acciones en entornos controlados.

En este proyecto de robótica de un *Robot Manipulador* de tres grados de libertad [10] y pinza con *Visión Artificial* dividido en dos secciones se pretende:

- 1) Diseñar y construir el robot por medio de una selección apropiada de materiales y componentes mecánicos, eléctricos, Sistemas embebidos, computadora, *encoders* y software de programación.
- 2) Programación de su entorno y diseño de aplicaciones.

En este artículo presentamos los resultados de la sección 1. La sección 2 es trabajo a futuro.

DESARROLLO

Diagrama a bloques del modelo

En el diagrama a bloques de la figura 1, se presenta la idea de la estructura general del *Robot Manipulador* con *Visión Artificial*. Se plantea un mecanismo con tres grados de libertad que representen el tronco, el hombro y el codo; y como actuador una pinza simple. En el diagrama, los servomotores 1, 2 y 3 son los tres grados de libertad y para saber su posición se lee el valor que devuelve su *encoder* correspondiente que en este caso es un potenciómetro. La pinza es el servomotor 4 de solamente abrir o cerrar con lectura de posición por medio del pot 4. La cámara de video capta la imagen presente para su procesamiento. Es necesario agregar algunos sensores de distancia y otros. La programación se elige por medio de *Python* por su versatilidad para trabajar con librerías de *Visión Artificial* de *OpenCV* [11].

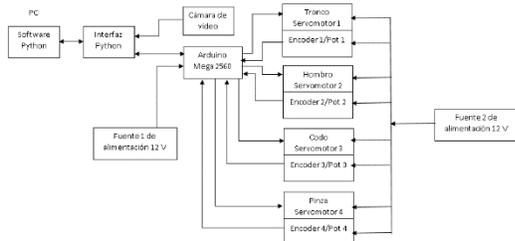


Figura 1. Diagrama a bloques de la estructura general del *Robot Manipulador* con *Visión Artificial*.

Diagrama de flujo de funcionamiento

En la figura 2 se presenta en forma general el diagrama de flujo de funcionamiento del *Robot Manipulador* con *Visión Artificial*, se puede ver que al inicio se establece la cámara y cada uno de los servomotores se dejan en un ciclo en el que se les aplica un observador que evalúa la estabilidad de su posicionamiento y dado el caso que se modifique alguno sin instrucción presente, por medio de

un control PD [4], se le pueda devolver a su posición original; enseguida en el caso que haya una nueva instrucción de posicionamiento a partir de los sensores de distancia y el procesamiento de imágenes, se calculan cada uno de los recorridos, se aplican por medio de técnicas de *cinemática inversa* y se procede a ejecutar la acción por medio de la pinza.

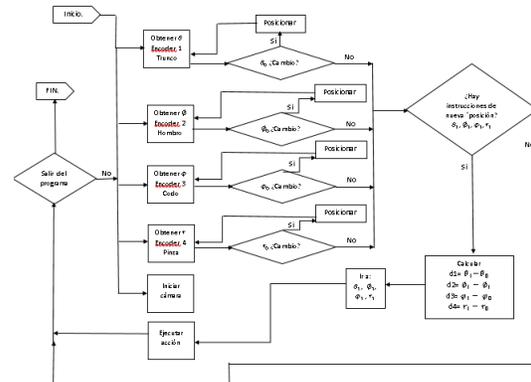


Figura 2. La forma general del diagrama de flujo de funcionamiento del *Robot Manipulador* con *Visión Artificial*.

Selección del modelo

Se tiene como referencia el *Robot Cincinnati Milacron T³* y el robot *PUMA* de *Unimation* que se caracterizan por la operaciones de giro (*roll*), elevación (*pitch*) y desviación (*yaw*). En similitud con la anatomía del ser humano [12] tendríamos la rotación del tronco o cintura, la rotación del hombro y la rotación del codo. La operación de la pinza es sólo de abrir o cerrar, ver figuras 3 y 4.

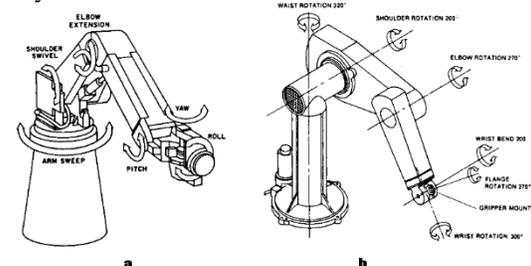


Figura 3. El modelo de referencia son a) el *Robot Cincinnati Milacron T³* y b) el *robot PUMA* de *Unimation*[2,3].

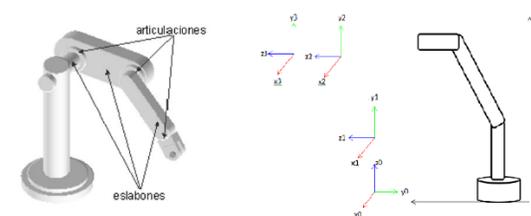


Figura 4. Identificación de articulaciones y eslabones y su posicionamiento, en un robot manipulador de 3 DOF[13].

Elección del prototipo

El robot manipulador empleado para este proyecto es de la marca *DAUERHAFT*, figura 5; dicho robot cuenta con:

- 11 piezas metálicas de ensamblaje
- 1 pinza metálica de agarre.
- 6 servomotores MG 996R de 180 grados
- 1 contrapeso metálico.
- Tornillos y tuercas de 1/2 de pulgada
- 3 rodamientos.
- 21 cinchos de plástico



Figura 5. Kit de robot programable de la marca *DAUERHAFT*.

Los grados de libertad en este modelo de brazo robótico se refieren a las diferentes formas en las que puede moverse o posicionarse. El número de grados de libertad de este brazo robótico puede variar dependiendo de su diseño y configuración, pero los grados de libertad comunes incluyen:

- **Grado de libertad en la base:** Este grado de libertad permite que todo el brazo robótico gire alrededor de su base. Es el movimiento de rotación en el eje vertical que permite al brazo cambiar su orientación general.
- **Grado de libertad en el hombro:** Este grado de libertad permite que el brazo pueda desplazarse hacia arriba y hacia abajo en un plano vertical.
- **Grado de libertad en el codo:** Este grado de libertad permite que el antebrazo se flexione o extienda en un plano vertical.
- **Grado de libertad en la pinza:** Este grado de libertad permite abrir o cerrar la pinza o herramienta de manipulación del brazo robótico (genera el movimiento de agarre o soltar objetos).

En la figura 6 se puede ver el robot armado, ya incluye la adaptación que se hizo para integrar un potenciómetro por cada articulación para devolver la posición.

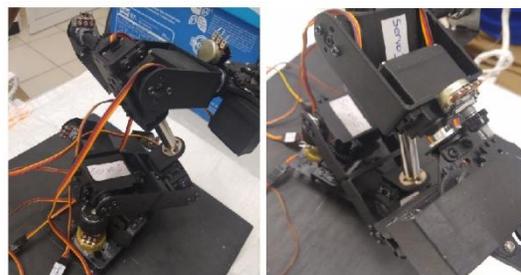


Figura 6. Kit de robot programable de la marca *DAUERHAFT* ensamblado.

Modelado 3D y trayectorias

El modelo 3D [14] incluye una serie de segmentos o eslabones articulados que representen cada sección del brazo robótico. Estos segmentos están unidos mediante articulaciones que permitan el movimiento y la flexibilidad del brazo robótico.

1. **Estructura de soporte:** El modelo incluye una estructura de soporte nombrada tronco que sostiene los segmentos del brazo y antebrazo. Esta es una estructura móvil que permite la movilidad del brazo robótico.
2. **Herramienta de agarre:** El extremo del brazo robótico puede estar equipado con diferentes herramientas de agarre intercambiables, como pinzas, garras o ventosas.

En la figura 7 se presenta un corte transversal en el plano xy dentro del espacio de accionamiento del *Robot Manipulador*. El cilindro asentado en el plano x representa el tronco del robot, tiene una altura $h + L_2$. El tronco tiene un rango de movimiento de 180° . El eslabón asociado al hombro tiene una longitud L_1 y tiene limitado su giro a solamente 90° , el eslabón asociado al codo tiene una longitud L_2 y su ángulo de giro es de 180° .

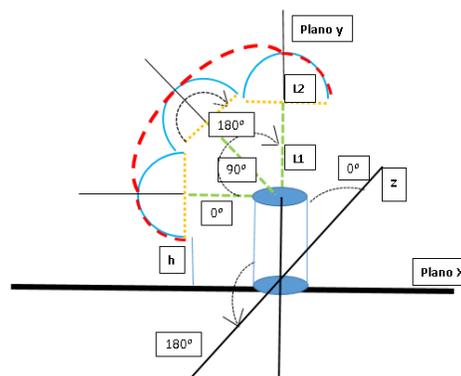


Figura 7. Corte transversal en el plano xy para apreciar la trayectoria de la pinza.

Para identificar el posicionamiento de la pinza definimos p el punto de posición y D la distancia del origen al punto de posición de la pinza o actuador en el espacio.

Así:

$$D = \sqrt{L_1^2 + L_2^2 - 2L_1L_2 \cos(90 + (90 - \varphi))} \quad \text{Ec.(1)}$$

$$D_{\max} = L_1 + L_2 \quad \text{Ec.(2)}$$

Se designa un nuevo ángulo δ que se lee entre el eje del brazo y la recta que va desde el origen hasta el punto de posición que se forma por la inclinación del antebrazo y a partir de los ángulos: Θ que es el desplazamiento en el plano horizontal, ϕ que es el ángulo de elevación desde el plano horizontal hasta los 90° , y en φ que es el desplazamiento del codo desde cero hasta 180° ; se obtienen las coordenadas cartesianas en el punto $p(x,y,z)$ por medio de las siguientes expresiones.

$$x = D \cos(\phi + \delta) \cos \Theta \quad \text{Ec.(3)}$$

$$y = D \cos(\phi + \delta) \sin \Theta \quad \text{Ec.(4)}$$

$$z = D \sin(\phi + \delta) \quad \text{Ec.(5)}$$

Especificaciones eléctricas y electrónicas:

Fuentes de alimentación:

- Voltaje de entrada: 12 V.
- Corriente máxima: 3A.
- Sistema de protección contra sobretensiones y sobre corrientes.

Microcontrolador:

- Modelo: Arduino Mega 2560.
- Arquitectura: AVR de 8 bits.
- Velocidad de reloj: 16 MHz.
- Memoria Flash: 256 KB.
- Memoria RAM: 8KB.
- Puertos de entrada/salidas digitales: 54
- Puertos de entrada analógica: 16
- Interfaces de comunicación: UART, I2C, SPI.

Servomotores:

- Modelo: MG 996R.
- Tensión de funcionamiento: 0.5 A.
- Torque máximo: 11 kg*cm
- Precisión de posición: $\pm 0.3^\circ$
- Interfaz de control: PWM (Modulación por Ancho de Pulso)

Codificadores de posición:

- Se utilizan potenciómetros lineales para proporcionar retroalimentación de posición y ángulo en determinadas articulaciones.
- Rango de resistencia: 1kOhm a 100kOhm
- Tolerancia: $\pm 5\%$

Cámara de vídeo:

- Se incorpora una cámara de alta resolución [15] para capturar imágenes y videos del entorno del brazo robótico.
- Resolución de imagen: HD (720) o superior.
- Interfaz de conexión: USB

- Compatible con los principales sistemas operativos y software de visión por computadora.

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Manipulación manual del robot.

A través de una interfaz visual de un programa escrito en *Python* que por medio de una ventana solicita al operador, que proporcione en forma separada el ángulo deseado al que se quiere posicionar el tronco, el hombro o el codo del prototipo de *Robot Manipulador*, con el botón mover se ejecuta la instrucción que devuelve para cada potenciómetro el valor del nuevo ángulo de posición obtenido, como medida de verificación se obtiene el valor de voltaje que lee cada potenciómetro. También se pueden detener los servomotores. Se puede ver en la figura 8.

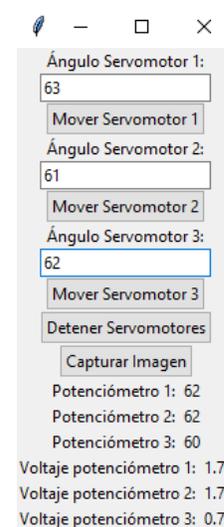


Figura 8. Menú de interacción del operador con el robot.

En el desarrollo de este proyecto se tiene como referencia el tema de “El modelo cinemático de un brazo robótico redundante de 7 *DOF* de un humanoide llamado *Mex-One*”, en el que se aplica cinemática directa para encontrar la posición del efector final del brazo y encontrar la solución de la cinemática inversa, esto con la finalidad de posicionar el brazo robótico en un punto específico en el espacio.

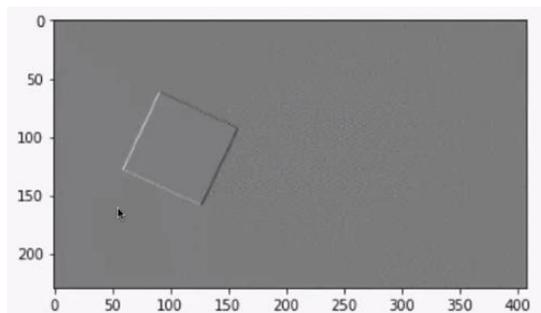
Ese trabajo de 7 *DOF* es del equipo de Investigación desde hace 8 años en el *CINVESTAV* unidad Guadalajara.

Un segundo trabajo de referencia es el de la *ESIME*, Sección de Estudios de Posgrado e Investigación del *IPN* en el que se refiere un Manipulador robótico para el entrenamiento de personal para cirugía incisiva [16].

Procesamiento de imágenes.

El trabajo de procesamiento de imágenes está disponible para la identificación de objetos a partir de las librerías *cv2*, *numpy* y *matplotlib* de *Open CV* para el reconocimiento de los colores [17] y algunas formas, también está hecho el trabajo para la identificación de contornos, ver figura 9. De referencia son los trabajos previos de este equipo de trabajo en un robot móvil para evadir obstáculos por medio de una computadora *Raspberry Pi 4*, con una *Pi Camera*.

a)



b)

Figura 9. a) Identificación de colores y b) Identificación de contornos.

En la figura 10 se presenta de dos formas el prototipo de *Robot Manipulador*, puede verse la PC en la que está corriendo un programa escrito en *Python*, en la esquina superior izquierda está la interfaz visual; puede verse la tarjeta *Arduino* conectada vía *USB*, puede verse el prototipo *Robot Manipulador* cableado a cada uno de sus servomotores y a cada uno de sus potenciómetros que captan los valores de posición por medio de los conjuntos de engranaje que los hacen girar y devolver un valor de voltaje.

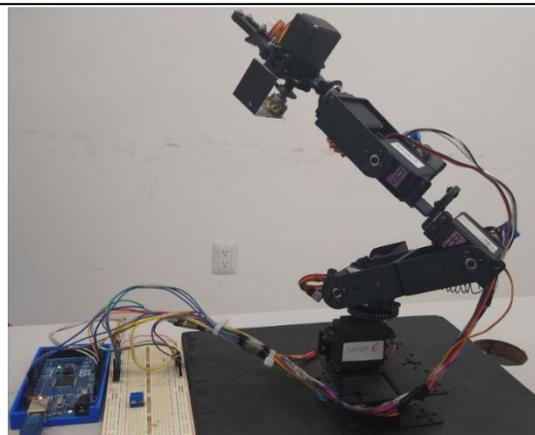
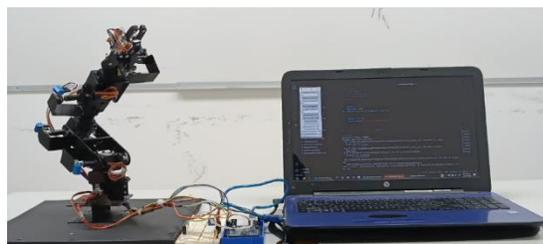


Figura 10. Dos vistas del prototipo de Robot Manipulador asociado a su sistema de control PC-Arduino.

A partir de estos resultados lo que sigue consiste en programar por medio de técnicas de *cinemática inversa* la operación del robot para que ejecute rutinas que dependan de la cámara y los sensores ultrasónicos de distancia.

CONCLUSIONES

La disponibilidad de servomotores y de estructuras prefabricadas de una gran variedad de fabricantes y de igual forma la versatilidad del lenguaje de programación *Python*, *OpenCV* y librerías para tratamiento de imágenes y al mismo tiempo permitir la programación de interfaces *I/O*, juntos permiten que sea posible realizar el prototipo de un *Robot Manipulador* con *Visión Artificial*.

Al momento, los dos subsistemas trabajan en forma separada; el subsistema articulado responde a rutinas individuales simples de posicionamiento comandado por medio de instrucciones desde el menú de interacción en la pantalla de la computadora y por otro lado en el trabajo de reconocimiento de imágenes está avanzado el estudio para la detección de color, filtrado, detección de bordes y reconocimiento alfanumérico por *OCR (Reconocimiento de caracteres ópticos)*. La primera línea de investigación que sigue en curso, de entrega a futuro es diseñar las rutinas de posicionamiento y respuesta *PID* del robot por medio de *cinemática inversa* y la segunda línea de investigación también en curso consiste en programar las interfaces que conecten la sección de detección de las imágenes que proporciona la cámara con los actuadores, para lograr la autonomía del prototipo.

AGRADECIMIENTOS

Al *TecNM/Instituto Tecnológico de Oaxaca* por brindarnos la oportunidad de llevar a efecto nuestras ideas que inician en la mente y parten del conocimiento que se comunica y se investiga en este espacio educativo, también al *Programa de Desarrollo Profesional (PRODEP)* que tiene los mecanismos para

motivar el trabajo creativo de los profesores y los estudiantes.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Martínez, C. (2017). Desarrollo de un robot manipulador blando e híper-redundante. Trabajo de fin de grado para la obtención del título de graduado en ingeniería de tecnologías industriales. Escuela técnica superior de Ingenieros industriales. Universidad Politécnica de Madrid.

[2] Fu, K.S., González, R.C. & Lee, C.S. (1988). Robótica: Control, detección, visión e inteligencia. McGrawHill/ Interamericana de España S. A. ISBN: 84-7615-214-0

[3] Reyes, F. (2011). Robótica. Control de Robots Manipuladores. Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.

[4] Alvarez, J.G. (1999). Técnicas de control para robots manipuladores con flexibilidad en la articulación. Tesis de Doctorado. Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Universidad Autónoma de Nuevo León. México.

[5] Carlson, W. B. (2015). TESLA Inventor de la era eléctrica. Ediciones culturales Paidós, S.A. de C.V. Obra editada en colaboración con Editorial Planeta-España.

[6] Gevarter, W. (1982). An overview of artificial intelligence and robotics Volume II- Robotics. National Aeronautics and space Administration. Headquarters. Washington D.C. 20546. U.S. Department of Commerce.

[7] International federation of Robotics. (2022). Artificial Intelligence in Robotics. Position paper. Frankfurt, Germany.

[8] Smith, J, et al (2018). Advances in Manipulator Arms: Industrial Applications and Challenges. Robotics and Automation, 35(2), 45-58.

[9] Jones, A., et al. (2019). Flexible Manipulator Arms: Applications and Challenges. Journal of Robotics Engineering, 42(4), 123-136.

[10] Liu, S., et al. (2020). Impact of Manipulator Arms on Industrial Efficiency: A Case Study. International Journal of Automation and Robotics, 25(3), 87 – 102.

[11] Parzibyte. (2021). Grabar video de cámara con Python, Flask y OpenCV – Cámara de vigilancia. Parzibyte's blog. <https://parzibyte.me/blog/2021/02/13/grabar-video-camara-python-flask-opencv-camara-vigilancia/>

[12] Rodríguez, C., Botero, J., Quintero, H.(2007). Aplicación de la Teoría de Robots Manipuladores a la biomecánica del brazo humano. Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial. ISSN:1697-7912 Vol. 4 pp51-57 <http://riai.isa.upv.es>

[13] Reyes, C., et al. (2017). Estrategias de Control para Robot Manipulador Industrial de 2GDL para generación de trayectoria. Academia Journals.com. ISSN 2153-3318. Vol. 6 No. 2 pp29.

[14] Orozco, R. (2014) Robot Móvil con Visión Artificial. Tesis de Maestría en Tecnología de Cómputo. Centro de Innovación y Desarrollo Tecnológico en Cómputo. IPN.

[15] Greyrat, R. (2022b, julio 5). Detección de múltiples colores en tiempo real usando Python-Open CV–Barcelona Geeks. <https://barcelonageeks.com/deteccion-de-multiples-colores-en-tiempo-real-usando-python-opencv/>

[16] Chavez, A., et al. (2009). Diseño y desarrollo de un manipulador robótico para el entrenamiento de personal en cirugía incisiva. Científica Vol.13 No. pp 145-155 ESIME, IPN. ISSN 1665-0654.

[17] Torres, I.,(2017). Desarrollo de un algoritmo de visión artificial para el guiado de un robot móvil. Trabajo de fin de grado. Universidad Politécnica de Valencia.

ROLES DE CONTRIBUCIÓN

Rol	Autor (es)
Conceptualización	Franco Gabriel Caballero Julián
Curación de datos	Carlos Alberto Matus Merino
Metodología	César Hernández Sánchez
Administración del Proyecto	Lidia Yanet Ordoñez Gonzaga
Recursos	Lidia Yanet Ordoñez Gonzaga
Software	Carlos Alberto Matus Merino
Supervisión	Franco Gabriel Caballero Julián
Validación	Miguel Ángel Pérez Solano
Visualización	César Hernández Sánchez
Redacción borrador original	César Hernández Sánchez (Grado de contribución: igual) Miguel Ángel Pérez Solano (Grado de contribución: igual)
Redacción Revisión y edición	Franco Gabriel Caballero Julián (Grado de contribución: principal) Lidia Yanet Ordoñez Gonzaga (Grado de contribución: que apoya)



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0.