



*Diseño de un brazo tipo pinza para clasificación de objetos con el uso de BrickLink Studio*

*Design of a gripper arm for object sorting using BrickLink Studio*

*Projeto de um braço de garra para classificação de objetos utilizando o BrickLink Studio*

Silvia Elizabeth Escobar-Pérez <sup>I</sup>

[silvia.escobar@istcarloscisneros.edu.ec](mailto:silvia.escobar@istcarloscisneros.edu.ec)  
<https://orcid.org/0009-0007-2449-9300>

Víctor Manuel Flores-Andino <sup>II</sup>

[victor.flores@istcarloscisneros.edu.ec](mailto:victor.flores@istcarloscisneros.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0001-5686-6864>

Juan José Pérez-Insuasti <sup>III</sup>

[perez.insuasti.juan.jose@gmail.com](mailto:perez.insuasti.juan.jose@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0002-4825-1269>

**Correspondencia:** [silvia.escobar@istcarloscisneros.edu.ec](mailto:silvia.escobar@istcarloscisneros.edu.ec)

Ciencias Técnicas y Aplicadas  
Artículo de Investigación

\* **Recibido:** 30 de mayo de 2025 \* **Aceptado:** 16 de junio de 2025 \* **Publicado:** 28 de julio de 2025

- I. Licenciada en Ciencias de la Educación, Magister en Aprendizaje de la Física, Docente del Instituto Superior Tecnológico Carlos Cisneros, Carrera de Tecnología Superior en Mecatrónica, Riobamba, Ecuador.
- II. Ingeniero en Electrónica y Control, Docente del Instituto Superior Tecnológico Carlos Cisneros, Carrera de Electrónica en Automatización y Telecomunicaciones, Riobamba, Ecuador.
- III. Ingeniero en Electrónica, Telecomunicaciones y Redes, Magister en Sistemas de Telecomunicaciones, CEO SICAP Consultoría Académica y Profesional, Riobamba, Ecuador.

## Resumen

La robótica constituye una de las tecnologías más importantes a nivel mundial, evidenciada por la creciente aparición de nuevos prototipos robóticos tanto en entornos educativos como industriales. Son diseñados a través del uso de plataformas digitales que adquieren mayor relevancia por su capacidad de integrar conceptos de diseño mecánico, programación y automatización. En el presente trabajo se diseñó y modeló un brazo robótico tipo pinza con 374 piezas LEGO mediante el entorno virtual de Bricklink Studio. El desarrollo se fundamentó en procesos matemáticos como transformaciones homogéneas y definición de parámetros de Denavit-Hartenberg, los cuales establecen las condiciones cinemáticas y dinámicas del sistema. La investigación siguió una metodología aplicada con enfoque mixto y diseño pre-experimental. El proceso comprendió: revisión preliminar, selección de componentes, modelado modular digital, pruebas de funcionalidad, análisis de estabilidad estructural, refinamiento iterativo y documentación técnica. Como resultado, se obtuvo un diseño funcional de un brazo robótico definido por tres articulaciones y cuatro puntos de análisis para accionar una pinza mediante un actuador lineal. La estructura presenta 34 puntos críticos de tensión que identifican las áreas que requieren mayor atención en el modelo. El sistema destaca por su modularidad y precisión en el movimiento, construido con herramientas y elementos de bajo costo. Esta estructura constituye una base sólida para el aprendizaje del funcionamiento de diversos mecanismos que simulen o integren movimientos de articulaciones antropomórficas adaptativas, ampliando su potencial para aplicaciones en entornos industriales o educativos avanzados.

**Palabras Clave:** Brazo robótico; Transformación Homogénea; LEGO Technic; Cinemática de robots; Prototipado virtual.

## Abstract

Robotics is one of the most important technologies worldwide, evidenced by the increasing emergence of new robotic prototypes in both educational and industrial settings. They are designed using digital platforms that are gaining greater relevance due to their ability to integrate concepts of mechanical design, programming, and automation. In this work, a gripper-type robotic arm was designed and modeled with 374 LEGO pieces using the virtual environment of Bricklink Studio. The development was based on mathematical processes such as homogeneous transformations and the definition of Denavit-Hartenberg parameters, which establish the kinematic and dynamic

conditions of the system. The research followed an applied methodology with a mixed approach and pre-experimental design. The process included: preliminary review, component selection, digital modular modeling, functionality testing, structural stability analysis, iterative refinement, and technical documentation. The result was a functional design of a robotic arm defined by three joints and four analysis points to actuate a gripper using a linear actuator. The structure features 34 critical stress points that identify the areas requiring the most attention in the model. The system stands out for its modularity and precision in movement, built with low-cost tools and components. This structure provides a solid foundation for learning how various mechanisms that simulate or integrate adaptive anthropomorphic joint movements work, expanding its potential for applications in advanced industrial or educational settings.

**Keywords:** Robotic arm; Homogeneous Transformation; LEGO Technic; Robot kinematics; Virtual prototyping.

## Resumo

A robótica é uma das tecnologias mais importantes do mundo, evidenciada pelo crescente aparecimento de novos protótipos robóticos em ambientes educativos e industriais. São concebidos utilizando plataformas digitais que têm vindo a ganhar maior relevância devido à sua capacidade de integrar conceitos de design mecânico, programação e automação. Neste trabalho, foi concebido e modelado um braço robótico do tipo garra com 374 peças LEGO utilizando o ambiente virtual do Bricklink Studio. O desenvolvimento baseou-se em processos matemáticos como transformações homogêneas e na definição de parâmetros de Denavit-Hartenberg, que estabelecem as condições cinemáticas e dinâmicas do sistema. A investigação seguiu uma metodologia aplicada com uma abordagem mista e um projeto pré-experimental. O processo incluiu: revisão preliminar, seleção de componentes, modelação modular digital, testes de funcionalidade, análise de estabilidade estrutural, refinamento iterativo e documentação técnica. O resultado foi um projeto funcional de um braço robótico definido por três articulações e quatro pontos de análise para acionar uma garra utilizando um atuador linear. A estrutura apresenta 34 pontos críticos de tensão que identificam as áreas que requerem maior atenção no modelo. O sistema destaca-se pela sua modularidade e precisão de movimento, construído com ferramentas e componentes de baixo custo. Esta estrutura fornece uma base sólida para a aprendizagem de como funcionam diversos

mecanismos que simulam ou integram movimentos articulares antropomórficos adaptativos, expandindo o seu potencial para aplicações em ambientes industriais ou educacionais avançados.

**Palavras-chave:** Braço robótico; Transformação Homogénea; LEGO Technic; Cinemática robótica; Prototipagem virtual.

## Introducción

### A. Antecedentes

En el ámbito de la robótica educativa y el prototipado funcional (Coelho et al., 2024), el uso de herramientas accesibles como los bloques LEGO, se ha consolidado como una alternativa eficaz para el diseño de mecanismos mecánicos y electrónicos (Hödl, 2024). Los prototipos creados dentro de los ambientes educativos, deben estar alineados con las condiciones industriales donde se aplican las nuevas tecnologías. La generación de soluciones innovadoras a problemas reales de la industria 4.0. desde las aulas, solamente es factible con la adopción de herramientas tecnológicas que fomenten la creatividad para crear estructuras basadas en mecanismos robóticos (Rericha et al., 2024).

En empresas fuertemente industrializadas, los brazos robóticos son los principales referentes. Las instituciones educativas deben estar preparadas para incluir en sus planes curriculares la actualización de tecnologías utilizadas dentro de sus laboratorios y talleres. Los prototipos creados bajo parámetros industriales reales son cruciales para que los estudiantes adquieran mejores conocimientos prácticos (Zeng et al., 2022). Los entornos de aprendizaje disruptivos son esenciales para una educación técnica especializada. El diseño estructural basado en procedimientos validados por estándares de calidad garantiza que los prototipos funcionen adecuadamente bajo condiciones extremas. Las simulaciones previas a la construcción de sistemas robóticos ofrecen un medio tangible para experimentar con condiciones de trabajo que reduzcan gastos extensos en las fases de implementación (Häfner et al., 2024) (Hyde y Filippidis, 2021) (Tselegkaridis y Sapounidis, 2021).

El uso de dispositivos robóticos en el ámbito industrial mejora los procesos de manufactura en condiciones que sea necesaria una precisión milimétrica, tareas repetitivas y la capacidad de trabajar en entornos peligrosos (Ali et al., 2025) (Jin y Han, 2024). Los brazos robóticos son ampliamente utilizados para realizar tareas que conlleven el movimiento de partes y clasificación, así como para actividades de inspección y mantenimiento (Pistone et al., 2024). Otro ejemplo de

su uso es en la industria alimentaria donde se ve cada vez se automatizan los mecanismos de envasado con gran eficacia (Khatib, 2019). La gran versatilidad para adaptarse a entornos industriales con múltiples aplicaciones, los convierte en componentes indispensables de la industria moderna (Rahman et al., 2024).

Los mecanismos encargados de mover las articulaciones son una de las partes esenciales de los brazos robóticos, los materiales y actuadores utilizados poseen gran eficiencia para cubrir con su movimiento los espacios con gran precisión, así como soportar el peso de piezas grandes de forma eficiente (Abdelmaksoud et al., 2024). Los servomotores son los principales elementos utilizados en las articulaciones para un accionamiento directo y preciso combinados con sistemas de control adaptativos que mejoran significativamente su rendimiento (Cheng et al., 2024). Sistemas con visión artificial y sensores táctiles adaptan a los brazos robóticos a entornos fluctuantes sin necesidad de aumentar sus grados de libertad (Wang et al., 2021).

### *B. Brazo robótico de tres ejes*

Los brazos robóticos presentan distintas tipologías que identifican las principales características de funcionamiento y conformación de su estructura. Se destacan los robots **cartesianos** (Zou et al., 2025), **cilíndricos** (Dhatterwal et al., 2024), **esféricos** (Hegde, 2025), **SCARA** (Selective Compliance Assembly Robot Arm) (Tay et al., 2022), **paralelos** o Delta (Elghitany et al., 2024) y **articulados** o antropomórficos (Strathearn y Ma, 2021) (Asif y Webb, 2021). Siendo estos últimos los más referentes en cuanto a su semejanza de su diseño con las anatomía de las extremidades humanas, generalmente conformada por 3 a 6 articulaciones (Chen et al., 2024).

Los brazos robóticos de tres ejes presentan una estructura más simplificada de funcionamiento. El diseño triaxial permite movimientos en los tres planos espaciales (x, y, z), otorgando una flexibilidad operativa esencial para manipular objetos con precisión en entornos tridimensionales. Esta capacidad resulta crucial en aplicaciones que requieren posicionamiento exacto. Los brazos de tres y seis ejes ofrecen alta precisión en tareas repetitivas, manteniendo consistencia operativa durante ciclos prolongados. Esta característica es particularmente valiosa en: manufactura (Wendt y Weeber, 2024), aplicaciones de pintura industrial (Yunatatak et al., 2024), distribución precisa de sustancias (como pesticidas en agricultura) (Mathi et al., 2024).

### *C. Diseño de brazos robóticos*

El modelado de brazos robóticos se lo realiza mediante la aplicación de la convención **Denavit-Hartenberg** y análisis matemático de **transformaciones homogéneas** para derivar sus

cinemáticas directa e inversa (Singh et al., 2024) (Wang y Jin, 2024) (Dorman et al., 2024). Así como el uso de **formulaciones de Lagrange y Newton-Euler** que modelan el comportamiento del brazo, considerando inercia, gravedad y fricción (Lu et al., 2024), el análisis preciso de trayectorias, velocidades y aceleraciones resulta fundamental (Ayazbay et al., 2024).

En cuanto al diseño de la estructura y programación se aplican diversos entornos virtuales que potencial el pensamiento espacial, lógico y técnico (Restrepo-Carmona et al., 2024). Es necesario considerar los principios de conservación de energía y momento, así como propiedades de resistencia de materiales, para seleccionar adecuadamente actuadores, sensores y elementos estructurales que garanticen control preciso manteniendo estabilidad (Shastri, 2025). La geometría de eslabones, articulaciones y efectores finales determina el espacio operativo y la precisión del sistema (Alshihabi et al., 2024).

Ejemplos de estos softwares son MATLAB, Roboanalyzer y Fusion 360 (Dorman et al., 2024), así como lo manifestado por Cardin-Catalan et al. (2019) que, de diez estudios analizados, **SolidWorks** predomina como herramienta de diseño (50%), complementada por **impresión 3D** (30%) y plataformas como **Matlab o Arduino** (20%). Además, Martínez et al. (Martínez et al., 2022) especifica que, el 60% de los proyectos utilizan servomotores como actuadores, con niveles de complejidad que abarcan desde **controles binarios** hasta sistemas avanzados con **cinemática inversa** y **visión artificial**. Concluye que, elementos como mecanismos de rigidez variable, sensores táctiles y sistemas de visión, mejoran significativamente la adaptabilidad para clasificación de objetos diversos.

Es por todo esto que, en este trabajo desarrolla un diseño de brazo robótico tipo pinza, mediante el software **BrickLink Studio**, una plataforma que permite crear modelos tridimensionales con piezas LEGO virtuales, ofreciendo ventajas significativas en el prototipado y optimización de recursos.

## Metodología

### *D. Tipo de Investigación*

Se aplica una investigación aplicada y tecnológica basada en el diseño de la estructura de un brazo robótico tipo pinza con el uso del software BrickLink (Cayetano-Jimenez et al., 2024).

### *E. Diseño de Investigación*

Se aplica un diseño pre-experimental que establece un proceso de pruebas repetitivas del diseño con el uso de diferentes tipos de piezas y esquemas (Sanchez-Bautista et al., 2025).

*F. Nivel de Investigación*

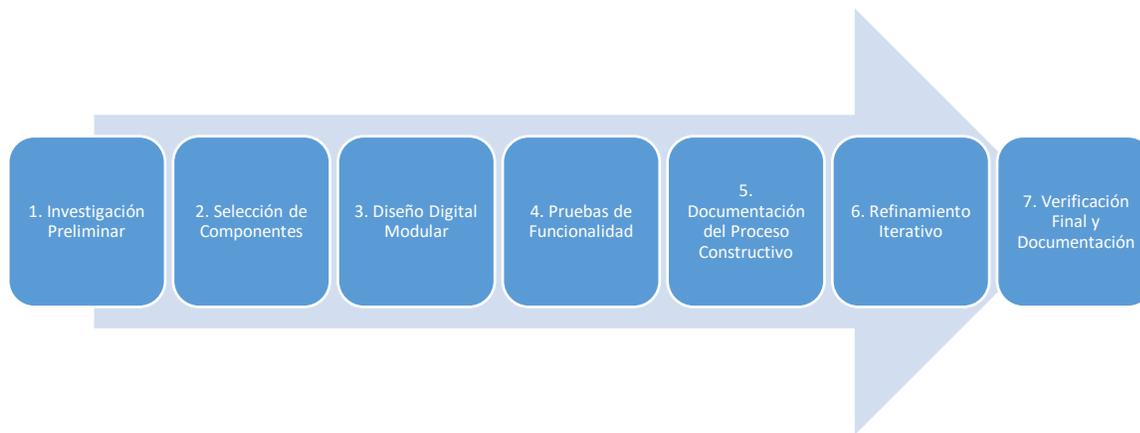
Se aplica un estudio de nivel descriptivo basado en la documentación minuciosa de cada paso hasta poder sistematizarlo en un proceso. Se describen los componentes y análisis funcional del sistema en cada momento hasta concluir con el diseño (Koycheva, 2024).

*G. Enfoque de Investigación*

Se adopta una metodología mixta que integra aspectos cualitativos y cuantitativos (Dittli et al., 2023). El componente cualitativo aborda la concepción creativa del diseño y la valoración práctica del prototipo, mientras el aspecto cuantitativo evalúa parámetros específicos como número de piezas utilizadas (fijas y móviles), alcance operativo, capacidad de sujeción y rangos de movimiento articular.

*H. Proceso de Ejecución del Proyecto*

Se establece una secuencia de procedimientos que sistematizan el proceso general de diseño, ver Figura 1.



*Figura 1. Proceso de Ejecución del Proyecto.*

**Resultados**

Para el diseño se escoge un modelo de brazo robótico del tipo antropomórfico compuesto por tres ejes que establecen el sistema de movimiento del mismo, añadiendo un sistema neumático para el accionamiento de la pinza de agarre. Los elementos utilizados fueron piezas LEGO Technic compuesto por una amplia variedad de componentes especializados. El modelado matemático del sistema se realiza mediante transformadas homogéneas y el modelo de Denavit-Hartenberg.

### I. Identificación de Articulaciones y eslabones

El brazo robótico contiene tres axis o articulaciones compuestas cada una por un motor, un sistema de transmisión y una plataforma giratoria; el modelo lo complementa un sistema neumático que se encarga de accionar la pinza de agarre, ver Figura 2. Cada elemento del sistema se detalla a continuación:

- **Base Rígida:** sistema de soporte para toda la estructura.
- **Base giratoria (articulación 1 - rotacional):** cubre los movimientos en torno a los ejes xz, se acciona mediante un motor.
- **"Hombro" (articulación 2 - rotacional):** elemento vertical del sistema, cubre los movimientos en torno al eje y, se acciona mediante un motor.
- **"Codo" (articulación 3 - rotacional):** elemento horizontal del sistema, cubre los movimientos en torno al eje y, se acciona mediante un motor.
- **“Sistema de agarre”:** no es una articulación adicional, es un elemento de sujeción que se acciona mediante un sistema neumático.

Los movimientos que corresponden a cada articulación se observan en la figura 2. Se establece que, la articulación 1 se mueve en todo el plano xz, mientras que, tanto la articulación 1 como la articulación 2 se mueve en el plano y, con limitaciones en los puntos finales de acción de 45 grados a cada lado, para que el sistema soporte la estructura del brazo.

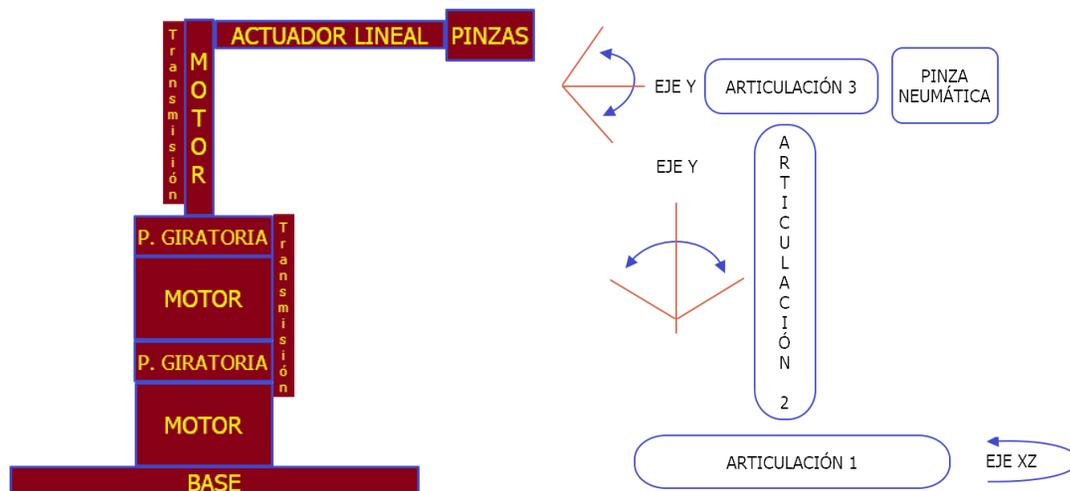


Figura 2. Esquema General y Movimientos del brazo robótico.

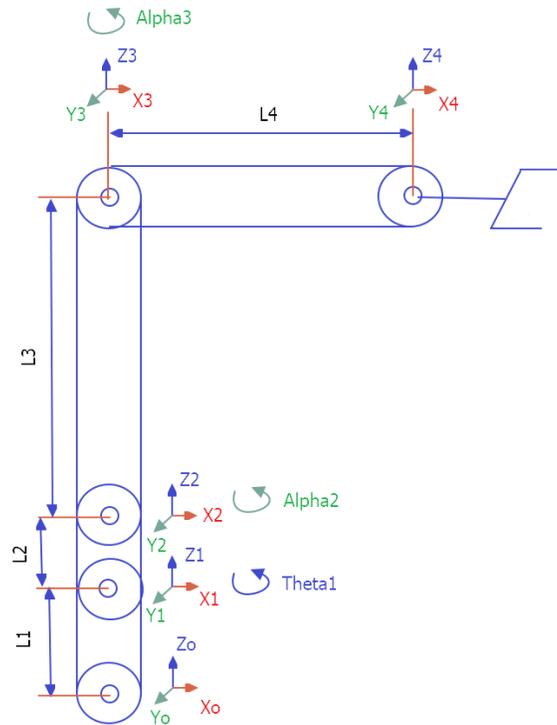


Figura 3. Movimientos que corresponden a cada articulación.

**J. Asignación de Sistemas de Coordenadas**

Para asignar el sistema de coordenadas se sigue la convención establecida por Denavit-Hartenberg (D-H), ver Figura 3, según la cual determina lo siguiente:

- El eje  $x_{(i)}$  y el eje  $z_{(i)}$  está compuesto por dos elementos móviles coincide con el eje de movimiento de cada articulación.
- El eje  $y_{(i)}$  coincide con la normal de cada articulación.

**K. Parámetros de Denavit-Hartenberg**

Para el brazo robótico de 3 articulaciones rotacionales, ver Figura 3, los parámetros D-H se observan en la Tabla 1.

Tabla 1. parámetros D-H para el brazo robótico.

Articulación $i$	$\theta_i$	$d_i$	$a_i$	$\alpha_i$
1	$\theta_1$	$L_1$	0	$0^\circ$
2	$0^\circ$	$L_2$	0	$a_2$
3	$0^\circ$	$L_3$	0	$a_3$

4	0°	0	L4	0°
---	----	---	----	----

Donde:

- $\theta_1, a_2, a_3$  son las variables de articulación (ángulos de rotación)
- L1 representa la altura de la base
- L2, L3, L4 representan las longitudes de los eslabones
- La pinza neumática se considera parte integral del último eslabón

#### L. Matrices de Transformación Homogénea

La matriz de transformación general para los parámetros D-H es:

$$A_i = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\sin\theta_i\cos\alpha_i & \sin\theta_i\sin\alpha_i & a_i\cos\theta_i \\ \sin\theta_i & \cos\theta_i\cos\alpha_i & -\cos\theta_i\sin\alpha_i & a_i\sin\theta_i \\ 0 & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[0 \ \sin\alpha_i \ \cos\alpha_i \ d_i] [0 \ 0 \ 0 \ 1]$$

Matriz A<sub>1</sub>:

$$A_1 = [\cos\theta_1 \ -\sin\theta_1 \ 0 \ 0] [\sin\theta_1 \ \cos\theta_1 \ 0 \ 0] [0 \ 0 \ 1 \ L1] [0 \ 0 \ 0 \ 1]$$

Matriz A<sub>2</sub>:

$$A_2 = [1 \ 0 \ 0 \ 0] [0 \ \cos\alpha_2 \ -\sin\alpha_2 \ 0] [0 \ \sin\alpha_2 \ \cos\alpha_2 \ L2] [0 \ 0 \ 0 \ 1]$$

Matriz A<sub>3</sub>:

$$A_3 = [1 \ 0 \ 0 \ 0] [0 \ \cos\alpha_3 \ -\sin\alpha_3 \ 0] [0 \ \sin\alpha_3 \ \cos\alpha_3 \ L3] [0 \ 0 \ 0 \ 1]$$

Matriz A<sub>4</sub>:

$$A_4 = [1 \ 0 \ 0 \ L4] [0 \ 1 \ 0 \ 0] [0 \ 0 \ 1 \ 0] [0 \ 0 \ 0 \ 1]$$

#### 1) Transformación Total (Cinemática Directa)

La matriz de transformación total  $T = A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4$  es:

$$T = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 & -\sin\theta_1\cos(\alpha_2 + \alpha_3) & \sin\theta_1\sin(\alpha_2 + \alpha_3) & L4\cos\theta_1 \\ \sin\theta_1 & \cos\theta_1\cos(\alpha_2 + \alpha_3) & -\cos\theta_1\sin(\alpha_2 + \alpha_3) & L4\sin\theta_1 \\ 0 & \sin(\alpha_2 + \alpha_3) & \cos(\alpha_2 + \alpha_3) & L1 + L2 + L3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[0 \ \sin(\alpha_2 + \alpha_3) \ \cos(\alpha_2 + \alpha_3) \ L1 + L2 + L3] [0 \ 0 \ 0 \ 1]$$

#### 2) Cinemática Directa

La cinemática directa calcula la posición y orientación del efector final (pinza) en función de los ángulos de las articulaciones

##### a) Posición del efector final

La posición (x, y, z) del efector final se puede calcular a partir de la matriz de transformación total T:

$$x = L4 \cdot \cos(\theta_1) ; \quad y = L4 \cdot \sin(\theta_1) ; \quad z = L1 + L2 + L3$$

Estas ecuaciones describen las coordenadas x, y, z de la pinza en el sistema de referencia base.

b) *Orientación del efector final*

La orientación viene dada por la matriz de rotación incluida en T:

$$R = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 & -\sin\theta_1\cos(\alpha_2 + \alpha_3) & \sin\theta_1\sin(\alpha_2 + \alpha_3) \\ \sin\theta_1 & \cos\theta_1\cos(\alpha_2 + \alpha_3) & -\cos\theta_1\sin(\alpha_2 + \alpha_3) \\ 0 & \sin(\alpha_2 + \alpha_3) & \cos(\alpha_2 + \alpha_3) \end{bmatrix}$$

M. *Cinemática Inversa*

La cinemática inversa consiste en encontrar los valores de las articulaciones que colocan el efector final en una posición y orientación deseadas.

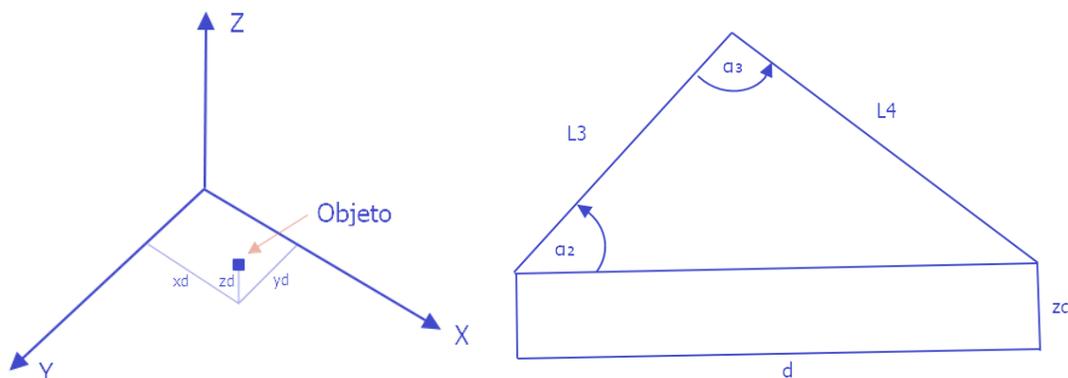


Figura 4. Condiciones de posición del objeto.

1) *Solución para  $\theta_1$*

Dada una posición deseada ( $x_d, y_d, z_d$ ):

$$\theta_1 = \text{atan}(y_d, x_d)$$

2) *Solución para  $\alpha_2$  y  $\alpha_3$*

Se calcula la distancia d:

$$d = \sqrt{y_d^2 + x_d^2}$$

Se calcula la diagonal D:

$$D = \sqrt{(d^2 + z_d^2)}$$

Se calcula el ángulo  $\alpha_2$ :

$$\alpha_2 = \arccos((L_3^2 + D^2 - L_4^2)/(2 \cdot L_3 \cdot D)) - \arctan(z_d/d)$$

Se calcula el ángulo  $\alpha_3$ :

$$a3 = \arccos((L3^2 + L4^2 - D^2)/(2 \cdot L3 \cdot L4))$$

Esta solución proporciona los ángulos necesarios para posicionar la pinza en el punto deseado, teniendo en cuenta que puede haber una sola configuración posible para alcanzar la posición deseada.

El accionamiento neumático de la pinza sería un parámetro binario (abierto/cerrado) independiente de la cinemática del brazo, controlado por un sistema separado de la lógica de posicionamiento.

#### N. Ensamblaje del brazo robótico con piezas LEGO Technic

La estructura principal está formada por diversas vigas (liftarms) de diferentes longitudes (desde 1x2 hasta 1x13) conectadas mediante ejes (axles) y conectores especializados (Pin), como conectores perpendiculares y angulares. El sistema incluye un elaborado conjunto de engranajes de diferentes tamaños (incluidos engranajes de 36, 20 y 12 dientes) que trabajan junto a dos motores EV3 y un motor SPIKE para generar y transmitir movimiento. Se destacan dos plataformas giratorias de 60 dientes Turntable, que permite la rotación del conjunto, mientras que el brazo extensible incorpora múltiples articulaciones que facilitan movimientos precisos accionadas por un actuador lineal. El listado de todos los componentes se observa en la Figura 5.

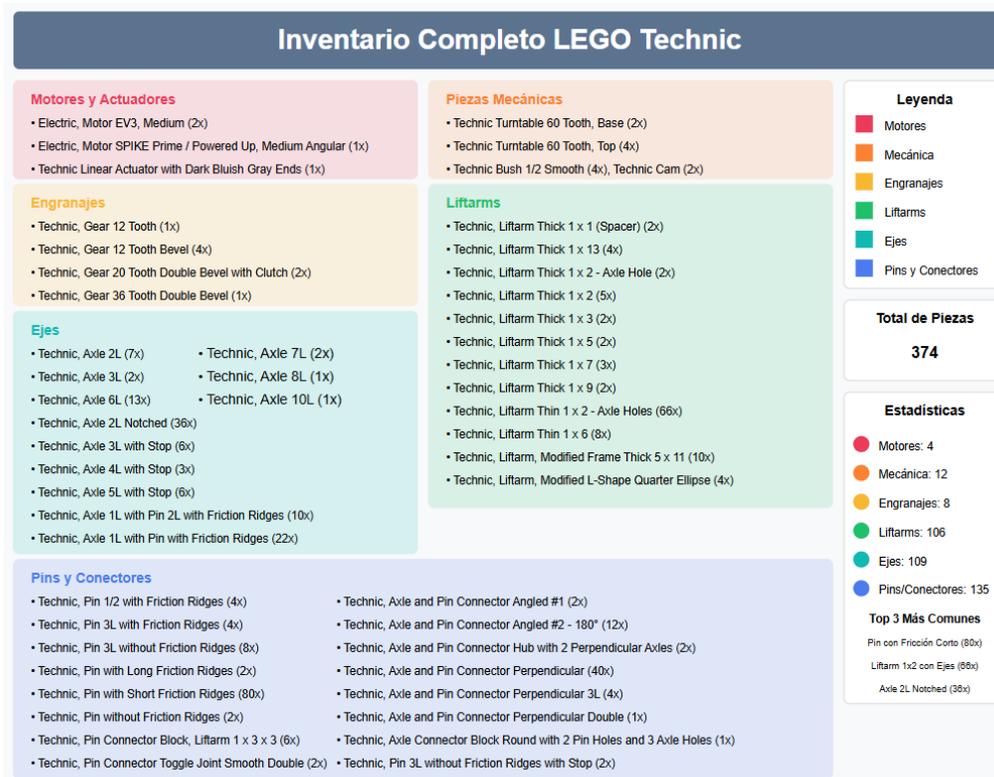
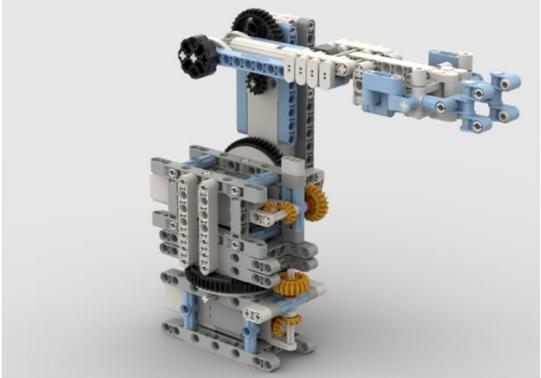
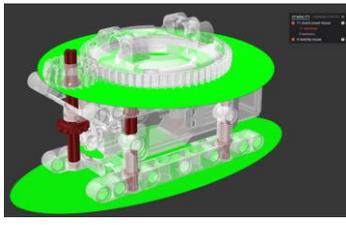
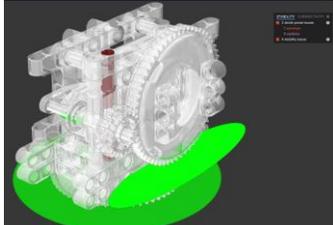
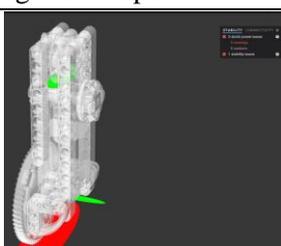
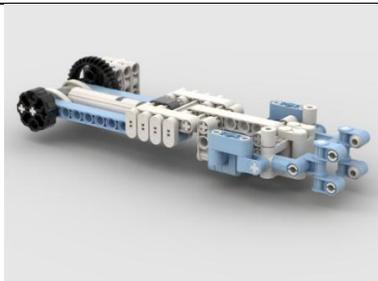
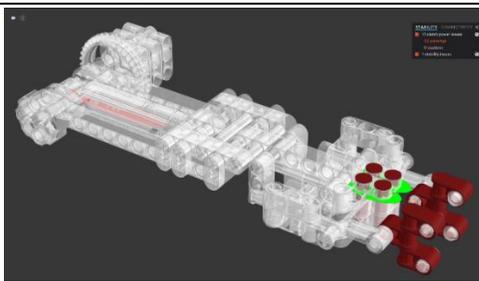


Figura 5. Listado de componentes.

### *O. Análisis del prototipo ensamblado en BrickLink Studio*

El diseño general del mecanismo se observa en la Figura 6. Presenta el modelo físico completo del brazo robótico articulado construido con piezas de LEGO Technic en un renderizado tridimensional detallado. Este brazo incorpora un diseño antropomórfico con múltiples articulaciones que emulan la funcionalidad de un brazo humano. El diseño muestra una integración cuidadosa de componentes mecánicos, con un equilibrio entre resistencia estructural y funcionalidad. Los engranajes amarillos y negros distribuidos estratégicamente actúan como transmisores de potencia entre las distintas articulaciones, permitiendo un movimiento controlado en múltiples ejes. La distribución de colores (gris, blanco, azul, amarillo y negro) no solo proporciona contraste visual, sino que también parece indicar la función de los diferentes componentes dentro del sistema robótico.

El análisis de estabilidad general se observa en la Figura 7. La imagen muestra un análisis de estabilidad computacional del brazo robótico completo construido con piezas de LEGO Technic. El software de análisis estructural presenta el brazo en una vista semitransparente para visualizar los componentes internos, con un código de colores que indica las áreas críticas. Los elementos en verde brillante (particularmente visibles en la base giratoria y algunos puntos de conexión) representan zonas con suficiente estabilidad estructural. En contraste, las áreas resaltadas en rojo indican puntos críticos con problemas de estabilidad, especialmente notables en el efector final (pinza) y en algunas conexiones clave a lo largo del brazo. El panel de información a la derecha confirma los problemas detectados, señalando 34 problemas de potencia en el embrague, 30 advertencias, 4 precauciones y 1 problema de estabilidad. Estas métricas indican que, si bien el diseño es funcional, presenta vulnerabilidades estructurales que podrían comprometer su rendimiento, particularmente en el sistema de transmisión de fuerza y en el efector final.

		
	Figura 6. Diseño General del Mecanismo.      Figura 7. Análisis Estructural.	
PRIEMRA ETAPA		
	Figura 8. Primera Etapa	
SEGUNDA ETAPA		
	Figura 9. Segunda Etapa	
TERCERA ETAPA		
	Figura 10. Tercera Etapa	
CUARTA ETAPA		
	Figura 11. Cuarta Etapa	

Se especifican los diseños de cada etapa acompañada con su análisis de estabilidad:

- **Primera Etapa:** La **Figura 8** muestra el diseño inicial de la base giratoria del brazo robótico. A la izquierda se observa el ensamblaje físico con un engranaje principal negro de gran diámetro que servirá como plataforma rotatoria, complementado por un engranaje secundario amarillo que funciona como mecanismo de transmisión. La estructura se soporta sobre una base gris rectangular. En la derecha, el análisis de estabilidad mediante software CAD muestra la distribución de tensiones, donde las áreas verdes indican zonas de estabilidad adecuada en la plataforma circular. El diseño parece optimizado para soportar cargas verticales mientras permite la rotación horizontal, estableciendo así el primer grado de libertad del robot.

- **Segunda Etapa:** La **Figura 9** presenta la evolución del diseño con la integración del mecanismo del "hombro" del brazo robótico. A la izquierda se aprecia la estructura física más compacta que incorpora un engranaje negro mayor con un engranaje amarillo que servirá como actuador para el movimiento vertical. La imagen derecha muestra el análisis computacional donde se destacan en verde las áreas de concentración de esfuerzos en la base, indicando que la estructura ha sido reforzada para soportar el torque generado durante el movimiento de elevación. Este componente añade el segundo grado de libertad al sistema, permitiendo el movimiento en el plano vertical.

- **Tercera Etapa:** La **Figura 10** ilustra el desarrollo del segmento extensible o "antebrazo" del robot. La imagen izquierda muestra una estructura vertical más esbelta con elementos azules que parecen ser conectores o actuadores lineales, y un engranaje negro en la base para la articulación. A la derecha, el análisis de estabilidad indica mediante el resaltado verde y rojo los puntos críticos de tensión, particularmente en la zona inferior donde se une con la etapa anterior. Este segmento agrega el tercer grado de libertad al sistema, permitiendo el movimiento de extensión o rotación en el "codo" del brazo robótico.

- **Cuarta Etapa:** La **Figura 11** representa el diseño completo del brazo con la implementación del efector final. A la izquierda se observa la estructura horizontal elongada con piezas azules claras y negras que forman el "antebrazo" extendido y terminan en lo que parece ser un mecanismo de agarre. La imagen derecha muestra el análisis estructural donde se destacan varios puntos rojos en el extremo, indicando zonas de alta concentración de esfuerzos en el efector final. Este diseño completa la cadena cinemática del robot, añadiendo funcionalidad de manipulación en el extremo mientras mantiene la integridad estructural a lo largo de todo el brazo articulado.

## Discusión

El desarrollo del brazo robótico tipo pinza utilizando BrickLink Studio confirma la viabilidad del uso de plataformas accesibles como LEGO Technic para la enseñanza y el prototipado funcional, alineándose con los planteamientos de Coelho et al. (2024) y Hödl (2024), quienes destacan la importancia de herramientas accesibles para fomentar el aprendizaje de conceptos mecánicos y electrónicos. La elección de un modelo antropomórfico de tres ejes permitió emular el comportamiento de brazos industriales simplificados, destacando por su eficiencia energética y su capacidad para ejecutar tareas de clasificación sin requerir orientaciones complejas del efector final, tal como lo señalaron Pistone et al. (2024).

El diseño modular, basado en principios físico-mecánicos como el análisis de trayectorias, articulaciones y la implementación de modelos cinemáticos, confirma la aplicabilidad de los enfoques propuestos por Singh et al. (2024) y Ayazbay et al. (2024). Además, la modelación matemática con transformadas homogéneas y el modelo de Denavit-Hartenberg proporciona el rigor necesario para describir el comportamiento espacial del sistema, en sintonía con lo planteado por Wang y Jin (2024). Este marco permitió integrar con precisión los tres grados de libertad del brazo y simular sus capacidades en tareas reales de manipulación.

El análisis estructural del prototipo reveló puntos críticos, especialmente en el efector final, que coinciden con lo señalado por Martínez et al. (2022), respecto a la necesidad de mejorar la rigidez y la incorporación de sensores para una mayor adaptabilidad. Asimismo, se valida lo expuesto por Rericha et al. (2024) y Restrepo-Carmona et al. (2024), respecto al valor educativo de estas herramientas al potenciar el pensamiento lógico y la resolución de problemas mediante entornos de diseño virtual.

La implementación del sistema de agarre por actuador lineal, junto con motores de distintos tipos (EV3 y SPIKE), permitió controlar de forma independiente cada articulación, replicando sistemas de control distribuidos como los discutidos por Abdelmaksoud et al. (2024) y Cheng et al. (2024). Si bien no se integraron sensores táctiles ni visión artificial, el sistema quedó preparado para su futura incorporación, siguiendo la tendencia actual en robótica educativa e industrial (Wang et al., 2021) (Lu et al., 2024).

En síntesis, los resultados obtenidos validan la propuesta como una solución funcional, didáctica y escalable, coherente con los avances recientes en robótica articulada y los requerimientos de

enseñanza práctica en ingeniería, como lo evidencian Zeng et al. (2022), Häfner et al. (2024) y Vallaro (2024).

## **Conclusiones**

Se completó el diseño y modelado de un brazo robótico tipo pinza con el uso del software BrickLink Studio. El prototipo cuenta con 374 piezas LEGO Technic distribuidas en categorías como: Motores, Mecánica, Engranajes, Ejes, Liftarms, Pines y Conectores, siendo estos últimos componentes los que más piezas contuvieron con 66 y 80 elementos respectivamente.

El diseño se construyó bajo proceso estructural modular compuesto por 4 etapas. El software utilizado tiene tres ventajas principales comparados con otras aplicaciones. Una de ellas es el uso de piezas preestablecidas distribuidas por diferentes categorías, siendo la categoría Technic la utilizada en este caso. La segunda ventaja es la posibilidad de generar un manual procedimental de la construcción del prototipo con la posibilidad de establecer las secuencias de armado, acompañadas por las piezas utilizadas en cada sucesión y la gráfica del avance de la elaboración del prototipo, evidenciando la ubicación de cada una de las piezas utilizadas en cada fase. Finalmente, la tercera ventaja es la posibilidad que brinda el software de generar un análisis estructural del sistema y visualizar los puntos críticos del mismo.

El diseño del brazo robótico se estructura en base a tres ejes y 4 eslabones, que fueron parametrizados a través del proceso establecido por Denavit-Hartenberg y el análisis matemático por medio de matrices de transformación homogénea que validan el funcionamiento del sistema robótico mediante los cálculos de cinemática directa e inversa, la asignación de coordenadas y el análisis estructural. El proceso permitió definir cuáles fueron los movimientos y los alcances de cada articulación y la definición de los grados de libertad de cada vértice.

Las pruebas iterativas facilitaron mejoras progresivas en funcionalidad y estabilidad, reforzando la importancia de establecer un proceso de construcción centradas en el prototipado y la verificación funcional. Estableciendo cualidades como una estructura robusta, que de movilidad propicia a cada articulación, una distribución adecuada del peso y una correcta articulación entre módulos. Aunque, se identificaron 34 puntos críticos ubicadas principalmente en el efector final, que evidencian los lugares para futuras mejoras que garanticen una mayor precisión y fiabilidad en entornos exigentes.

Finalmente, se determina que, el uso de aplicaciones que permitan una construcción modular de prototipos robóticos, acompañados de un análisis estructural de sus componentes, con la posibilidad de realizar simulaciones continuas de operación facilitan el desarrollo innovador de nuevas tecnologías de una manera didáctica y técnica que sea de utilidad tanto en entornos educativos como profesionales.

La construcción de prototipos básicos con el uso de piezas LEGO prepara a los estudiantes para comprender y aplicar conceptos teóricos en actividades prácticas que fomenten mejores iniciativas creativas, y mejorar su aprendizaje en conceptos complejos de robótica y automatización a través de plataformas intuitivas y visuales. Sirve como una base para la aplicación de conceptos más avanzados en las áreas de electrónica, robótica y mecatrónica.

## Referencias

1. Abdelmaksoud, S. I., Al-Mola, M. H., Abro, G. E., y Asirvadam, V. S. (2024). In-depth review of advanced control strategies and cutting-edge trends in robot manipulators: analyzing the latest developments and techniques. *IEEE Access*, 12(s.n.), 47672-47701. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3383782>
2. Ali, Z., Rasheed, K., Saad, S., Ammad, S., y Shahzad, L. (2025). Robotics and Automation: Tools and Technologies. En S. Saad, K. Rasheed, y S. Ammad, *Applications of Digital Twins and Robotics in the Construction Sector* (pp. 75-103). CRC Press.
3. Alshihabi, M., Ozkahraman, M., y Kayacan, M. Y. (9 de 2024). Enhancing the reliability of a robotic arm through lightweighting and vibration control with modal analysis and topology optimization. *Mechanics Based Design of Structures and Machines*, 53(3), 1950-1974. <https://doi.org/10.1080/15397734.2024.2400207>
4. Asif, S., y Webb, P. (2 de 2021). Kinematics Analysis of 6-DoF Articulated Robot with Spherical Wrist. *Mathematical Problems in Engineering*, 2021(1), 6647035. <https://doi.org/10.1155/2021/6647035>
5. Ayazbay, A. A., Balabyev, G., Orazaliyeva, S., Gromaszek, K., y Zhauyt, A. (2024). Trajectory Planning, Kinematics, and Experimental Validation of a 3D-Printed Delta Robot Manipulator. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 13(1), 113-126. <https://doi.org/10.18178/ijmerr>

6. Cardin-Catalan, D., Del Pobil, A. P., y Morales, A. (9 de 2019). Diseño de una nueva pinza robótica de resistencia variable usando dedos de partículas. En Comité Español de Automática, XL Jornadas de Automática: libro de actas (pp. 671-678). 10.17979/spudc.9788497497169.671 .
7. Cayetano-Jimenez, I. U., Martinez-Rios, E. A., Bustamante-Bello, R., Ramirez-Mendoza, R. A., y Ramirez-Montoya, M. S. (3 de 2024). Experimenting with soft robotics in education: A systematic literature review from 2006 to 2022. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 17(s.n.), 1249-1266. <https://doi.org/10.1109/TLT.2024.3372894>
8. Chen, M., Ren, W., y Jiang, Y. (2024). Robot Overview. *echnologies of Robotic Welding*. Singapore: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-97-3149-7\\_1](https://doi.org/10.1007/978-981-97-3149-7_1)
9. Cheng, M., Zhou, J., Qian, W., Wang, B., Zhao, C., y Han, P. (3 de 2024). Advanced electrical motors and control strategies for high-quality servo systems-a comprehensive review. *Chinese Journal of Electrical Engineering*, 10(1), 63-85. <https://doi.org/10.23919/CJEE.2023.000048>
10. Coelho, J., Brancalião, L., Alvarez, M., Costa, P., y Gonçalves, J. (7 de 2024). Prototyping and Control of an Educational Manipulator Robot. 2024 10th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT) (pp. 1814-1819). Vallette, Malta: IEEE. <https://doi.org/10.1109/CoDIT62066.2024.10708583>
11. Dhattewal, J. S., Kaswan, K. S., y Batra, R. (2024). *Nature Inspired Robotics*. CRC Press.
12. Dittli, J., Meyer, J. T., Gantenbein, J., Bützer, T., Ranzani, R., Linke, A., . . . Lambercy, O. (12 de 2023). Mixed methods usability evaluation of an assistive wearable robotic hand orthosis for people with spinal cord injury. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 20(1), 162. <https://doi.org/10.1186/s12984-023-01284-8>
13. Dorman, J. D., Kaur, G., y Rahim, M. (2024). Kinematic Modelling of a Three-Axis Articulated Robotic Arm. *Congress on Control, Robotics, and Mechatronics*. Singapore: Springer Nature. [https://doi.org/10.1007/978-981-97-7094-6\\_25](https://doi.org/10.1007/978-981-97-7094-6_25)
14. Elghitany, M. N., Ahmed, A., Zaki, D., Behhit, D., Hosni, H., Nour, H., . . . Ahmed, M. I. (2024). Advancements in Design, Kinematics, and Control: A Comprehensive Review of Delta Robot Research. *Advanced Sciences and Technology Journal*, 1(2), 1-38. <https://doi.org/10.21608/astj.2024.345254.1028>

15. Häfner, P., Bergmann, V., Häfner, V., Michels, F. L., Grethler, M., y Karande, A. (2024). An Adaptive Learning Environment for Industry 4.0 Competencies Based on a Learning Factory and Its Immersive Digital Twin. CSEDU (pp. 720-731). SCITEPRESS. <https://doi.org/10.5220/0012757000003693>
16. Hegde, A. (2025). Robotics: Vision and Control Techniques. Educohack Press.
17. Hödl, O. (4 de 2024). An electronic engineering approach for turning a Lego brick piano into a musical instrument. IEEE Access, 12(s.n.), 51319 - 51329. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3386361>
18. Hyde, R., y Filippidis, F. (2021). Design Studio Vol. 2: Intelligent Control: Disruptive Technologies. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003212751>
19. Jin, T., y Han, X. (6 de 2024). Robotic arms in precision agriculture: A comprehensive review of the technologies, applications, challenges, and future prospects. Computers and Electronics in Agriculture, 221(s.n.), 108938. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.108938>
20. Khatib, O. (2019). The Age of Human-Robot Collaboration. Stanford University Press.
21. Koycheva, L. (2024). Anthropology is Good to Build With: From Ethnographic Imagination to Anthropological Speculation in Robotics. En M. Artz, y L. Koycheva, EmTech Anthropology (pp. 107-129). Routledge.
22. Lu, H., Yang, Z., Zhu, D., Deng, F., y Guo, S. (7 de 2024). Dynamics Modeling and Parameter Identification for a Coupled-Drive Dual-Arm Nursing Robot. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 37(1), 74. <https://doi.org/10.1186/s10033-024-01063-z>
23. Martínez, A. G., Perez, A. J., Moreno, E. C., Quiroga, L. A., y Onofre, D. M. (12 de 2022). Diseño de gripper para robot Fanuc LR Mate 200 ID, aplicando el Método de Optimización Topológica. Científica, 26(2), 1-14. <https://doi.org/10.46842/ipn.cien.v26n2a08>
24. Mathi, S. C., Surat, D. A., y Nithya, M. (2024). Solar-Powered Rover with a Three-Axis Robotic Arm for Image-based Targeted Pesticide Spraying. 2024 2nd International Conference on Self Sustainable Artificial Intelligence Systems (ICSSAS). Erode, India: IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICSSAS64001.2024.10760853>
25. Pistone, A., Ludovico, D., Dal Verme, L. D., Leggieri, S., Canali, C., y Caldwell, D. G. (2024). Modelling and control of manipulators for inspection and maintenance in

- challenging environments: A literature review. *Annual Reviews in Control*, 57(s.n.), 100949. <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2024.100949>
26. Rahman, M. M., Khatun, F., Jahan, I., Devnath, R., y Bhuiyan, M. A. (8 de 2024). *Cobotics: The Evolving Roles and Prospects of Next-Generation Collaborative Robots in Industry 5.0*. *Journal of Robotics*, 2024(1), 2918089. <https://doi.org/10.1155/2024/2918089>
  27. Rericha, T., Vacha, M., Steiner, F., y Tupa, J. (10 de 2024). *Application of Education Models for the Concept of Industry 4.0*. 2024 International Conference on Diagnostics in Electrical Engineering (Diagnostika) (pp. 1-5). Pilsen, Czech Republic: IEEE. <https://doi.org/10.1109/Diagnostika61830.2024.10693890>
  28. Restrepo-Carmona, J. A., Taborda, E. A., Paniagua-García, E., Escobar, C. A., Sierra-Pérez, J., y Vásquez, R. E. (9 de 2024). *On the Integration of Complex Systems Engineering and Industry 4.0 Technologies for the Conceptual Design of Robotic Systems*. *Machines*, 12(9), 625. <https://doi.org/10.3390/machines12090625>
  29. Sanchez-Bautista, J. A., Antelis, J. M., y Mendoza-Montoya, O. (3 de 2025). *Early Detection Via EEG Signals of Self-Initiated Reaching and Grasping Movements Performed With The Subject's Selected Upper Extremity*. *IEEE Access*, 13(s.n.), 52607 - 52620. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3553554>
  30. Shastri, S. (2025). *Robotic Mechanical Systems Fundamentals*. Educohack Press.
  31. Singh, R., Agrawal, A., Mishra, A., Arya, P. K., y Sharma, A. (2024). *Application of Deep Learning Model for Analysis of Forward Kinematics of a 6-Axis Robotic Hand for a Humanoid*. 2024 3rd International Conference on Artificial Intelligence and Autonomous Robot Systems (AIARS). Bristol, United Kingdom: IEEE. <https://doi.org/10.1109/AIARS63200.2024.00006>
  32. Strathearn, C., y Ma, E. M. (2 de 2021). *A novel speech to mouth articulation system for realistic humanoid robots*. *Journal of intelligent & robotic systems*, 101(3), 54. <https://doi.org/10.1007/s10846-021-01332-2>
  33. Tay, S. H., Choong, W. H., y Yoong, H. P. (2022). *A review of SCARA robot control system*. IEEE International Conference on Artificial Intelligence in Engineering and Technology (IICAIET). Kota Kinabalu, Malaysia: IEEE. <https://doi.org/10.1109/IICAIET55139.2022.9936755>

34. Tselegkaridis, S., y Sapounidis, T. (2021). Simulators in educational robotics: A review. *Education Sciences*, 11(1), 1-12. <https://doi.org/10.3390/educsci11010011>
35. Vallaro, M. F. (2024). Markerless Motion Capture for Dual-Handed Teleportation of Industrial Robots. University of Rhode Island.
36. Wang, B., Tao, F., Fang, X., Liu, C., Liu, Y., y Freiheit, T. (2021). Smart manufacturing and intelligent manufacturing: A comparative review. *Engineering*, 7(6), 738-757. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2020.07.017>
37. Wang, Z., y Jin, Z. (2024). Motion Optimization of a Six-Degree-of-Freedom Robotic Arm Based on Denavit-Hartenberg Parameter Method and NSGA-II. 2024 IEEE 2nd International Conference on Electrical, Automation and Computer Engineering (ICEACE). Changchun, China: IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICEACE63551.2024.10898211>
38. Wendt, T. M., y Weeber, T. (2024). Feasibility exploration for a robust and reliable wireless connection for AI-generatively designed, additively manufactured articulated robotic arms. 2024 Wireless Telecommunications Symposium (WTS). Oakland, CA, USA: IEEE. <https://doi.org/10.1109/WTS60164.2024.10536685>
39. Yunatatak, R., Jaenudin, J., Hakim, L., y Ma'a, M. (2024). Painting robot with three axis motion. *JTTM: Jurnal Terapan Teknik Mesin*, 5(1), 113-127. <https://doi.org/10.37373/jttm.v5i1.858>
40. Zeng, C., Zhou, H., Ye, W., y Gu, X. (4 de 2022). iArm: design an educational robotic arm kit for inspiring students' computational thinking. *Sensors*, 22(8), 2957. <https://doi.org/10.3390/s22082957>
41. Zou, Q., Shi, Y., Zhang, S., Zhang, H., Li, L., Huang, G., y Zhang, D. (1 de 2025). Design and Performance Analysis of a Novel Group of Translational Parallel Robots for a Three-Axis Grinding Machine. *Electronics*, 14(3), 427. <https://doi.org/10.3390/electronics14030427>