

PROYECTO INTEGRADOR DE COMPETENCIAS I, II, III:

TÍTULO:

| | | |
|------------------------------------------|-----------------|--------------------------|
| Autor 1: | Autor 2: | Autor 3: |
| Firma: | Firma: | Firma: |
| Docentes encargados: | | Fecha de Entrega: |
| Hippa R., Eguia L., Campero C., Díaz M., | | |

1. Introducción

1.1. Planteamiento del problema

La enseñanza de robótica manipuladora en contextos educativos (escuelas, UTU, liceo y cursos introductorios universitarios) suele verse limitada por el alto costo, riesgos de seguridad y poca facilidad de modificación y/o reparación de los equipos comerciales. Esto reduce la práctica real de manipulación, dificulta integrar contenidos de mecánica, electrónica y control, y hace inviable llevar equipos a giras didácticas.

1.2. Solución propuesta

Un brazo robótico didáctico a escala de 4 GDL con efector intercambiable: electroimán (para piezas ferromagnéticas) y garra (para piezas no magnéticas). Estructura paramétrica cortada en MDF (3.2–10 mm), tornillería estándar y electrónica de fácil reposición. Control con ESP32/ATmega328P, modos manual/automático, GUI en Python (Tkinter/PyQt), y documentación abierta para replicación.

1.3. Objetivo General

Diseñar, construir y validar un brazo robótico didáctico de 4 GDL, seguro, portable y de bajo costo, con efectores electroimán/garra intercambiables, capaz de ejecutar tareas básicas de pick & place en un volumen de trabajo de hasta 50×50×50 cm.

1.4. Objetivos específicos

1. **Repetibilidad:** $\leq 3\text{--}5\text{ mm}$ en el volumen útil (validado con 10 repeticiones por punto).
2. **Carga y alcance:** manipular $\leq 100\text{ g}$ a un alcance de 40 cm con tasa de éxito $\geq 90\%$ (10 intentos).
3. **Tiempo de ciclo:** $\text{pick} \rightarrow \text{place} \rightarrow \text{retorno} \leq 3\text{ s}$ a 10–15 cm entre posiciones.
4. **Efector intercambiable:** cambio imán/garra en $\leq 60\text{ s}$ sin herramientas especiales.
5. **Seguridad:** paro de emergencia, cableado protegido, tensión segura en zona de usuario; checklist previo a operación.
6. **Software:** GUI con lectura de posición, control ON/OFF del imán, modos manual y automático y cinemática inversa planar.

1.5. Obstáculos

A partir del alcance y de las decisiones técnicas, se identifican los siguientes obstáculos que pueden afectar cronograma, costo y calidad del prototipo:

- Mantener un costo *razonable y no excesivo* considerando servos, fuente, electrónica y materiales. *Mitigación:* priorizar compras esenciales, consolidar pedidos, alternativas locales y revisión de la BOM por etapas.
- Ajustes paramétricos para distintos espesores, transmisión por eslabones y tolerancias de corte. *Mitigación:* plantillas de agujeros unificadas, librería de piezas parametrizadas y pruebas de “cupón” antes del corte final.

- Variación de espesores de MDF (3.2–10 mm), alternativas en acrílico/metal y stock de tornillería. *Mitigación:* diseño con holguras controladas, insertos/espaciadores y piezas “shim” para compensar espesores.
- Acceso a componentes para reemplazo, desgaste en articulaciones y cableado. *Mitigación:* modularidad por subconjuntos, tornillería estándar M3, bujes/arandelas en puntos de fricción y canalización de cables.
- Alineación de ejes, juego mecánico y centrado previo de servos. *Mitigación:* guías paso a paso, marcas de referencia, útiles simples de alineación y checklist de calibración inicial.

2. Fundamento técnico-conceptual

2.1. Análisis de mercado

Se realiza un periodo de investigación donde se recopilan modelos ya existentes en el mercado actual para solventar la problemática proporcionada.

2.1.1. GrabCAD

GrabCAD es una plataforma comunitaria donde ingenieros y diseñadores comparten modelos 3D, ensamblajes y recursos CAD. Permite subir, buscar, previsualizar y descargar modelos en formatos comunes (p. ej. STEP/IGES, STL, SLDPRPT), organizar colecciones y discutir mejoras en comentarios. Suele incluir descripciones, imágenes renderizadas y, en algunos casos, archivos auxiliares (planos o BOM).

En estas se encontraron múltiples diseños para brazos robóticos, como los que se pueden ver a continuación

2.2. Soluciones consideradas

A partir del planteamiento del problema, se evaluaron tres alternativas tecnológicas para el accionamiento del brazo. A continuación se presentan de forma breve sus características, ventajas y limitaciones principales.

- **Servomotores (MG996R).** Proporcionan control directo por PWM, integración sencilla con microcontroladores y velocidad adecuada para demostraciones didácticas. En comparación con MG90 (insuficientes en par), los MG996R cubren el requerimiento de carga (hasta 100 g a 40 cm) con una repetibilidad aceptable. *Detractor principal:* es la alternativa más cara dentro de las consideradas; se estimó un costo de **4 servos por \$U 2600** (disponibles en línea), aunque mantiene baja la complejidad de diseño y puesta en marcha.
- **Actuadores lineales tornillo—tuerca (motor DC con reductora).** Ofrecen alta fuerza y buen costo por actuador, y a niveles educativos más avanzados pueden resultar más *didácticos* por la necesidad de instrumentación. Sin embargo, el mecanismo es más lento y menos preciso sin realimentación; requiere encoders o potenciómetros y finales de carrera para conocer el ángulo articular. Además, el diseño de eslabones y articulaciones se complica para alojar el husillo, y los mecanismos de codificación de posición son más propensos a *interferencias/ruido* y se convierten en otro posible punto de fallo. El juego mecánico (backlash) y la fricción pueden degradar la repetibilidad.

- **Actuadores lineales con asistencia hidráulica (jeringas).** Es la alternativa más compleja: añade una capa de transmisión hidráulica sobre el actuador lineal. A cambio, ofrece una *relación fuerza—peso* muy favorable (bajo peso en el extremo móvil frente a la fuerza aplicable). No obstante, introduce menor velocidad, histéresis, necesidad de purgado/cebado, riesgo de fugas y mayor mantenimiento; el control (válvulas, amortiguación) eleva la complejidad de ingeniería. Al igual que en la opción de tornillo—tuerca, la posición debe codificarse (p.ej., potenciómetros/encoders lineales), añadiendo sensores y puntos de fallo adicionales.

| Criterio | Peso | Servo | Actuador | Hidráulico |
|------------------------|-------------|--------------|-----------------|-------------------|
| Peso | 0.10 | 4 | 3 | 3 |
| Velocidad | 0.20 | 4 | 2 | 1 |
| Simplicidad | 0.30 | 5 | 2 | 1 |
| Precio | 0.20 | 4 | 4 | 4 |
| Fuerza | 0.15 | 3 | 4 | 5 |
| Libertad | 0.05 | 5 | 3 | 3 |
| Total ponderado | | 4.20 | 2.85 | 2.50 |

Cuadro 1: Matriz de selección de actuadores (1 = peor, 5 = mejor). Totales calculados con los pesos indicados.

Decisión técnica

Se implementa la solución con **servomotores MG996R** por simplicidad de control, velocidad adecuada y disponibilidad, manteniendo el costo dentro del objetivo y una fuerza suficiente para las tareas de *pick & place*. No obstante, se adopta la filosofía de diseño observada en las alternativas de actuadores lineales e hidráulicos: *concentrar masa cerca de los ejes de rotación y transmitir el movimiento mediante eslabones* hasta las articulaciones distales. Con ello se reduce el brazo de palanca efectivo sobre cada servo, disminuye el par exigido y se baja la inercia en el extremo móvil, conservando parte de los beneficios de aquellas soluciones sin incorporar su complejidad de sensado y control.

Lineamientos de diseño adoptados

- Ubicar los actuadores lo más cerca posible de los ejes principales o de la base para minimizar el par requerido.
- Emplear eslabones/bielas para accionar articulaciones alejadas, manteniendo baja la masa en el efector.
- Limitar configuraciones que generen grandes brazos de palanca y añadir topes/curvas de velocidad para proteger a los servos.
- Mantener la *modularidad e intercambiabilidad* del efector (electroimán/garra) y el diseño paramétrico para distintos espesores de MDF.

En síntesis, el resultado es un diseño híbrido control directo con servos potentes y una arquitectura mecánica inspirada en sistemas lineales/hidráulicos que traslada masa hacia la estructura fija. Esto simplifica la implementación y el mantenimiento, a la vez que mejora la eficiencia mecánica y la repetibilidad del prototipo.

3. Alcance

3.1. Alcance del proyecto

El proyecto comprende el diseño, construcción y validación de un brazo robótico didáctico a escala. La arquitectura mecánica contempla cuatro grados de libertad (sin contar el efector), con una estructura paramétrica diseñada para corte láser en MDF de espesores entre 3.2 y 10 mm, pero adaptable también a materiales como acrílico o metal. La base será fija y deberá estar contenida dentro de un volumen de $50 \times 50 \times 50$ cm.

El sistema contará con efectores intercambiables, entre ellos un electroimán para la manipulación de piezas ferromagnéticas y una garra mecánica para piezas no magnéticas. Ambos estarán diseñados con un mecanismo de cambio rápido que permita alternar entre uno y otro sin dificultad.

La actuación del brazo se logrará mediante servomotores MG996R, con uno por cada articulación principal. Para optimizar el rendimiento, se implementará una transmisión por eslabones que mantenga la mayor parte de la masa cercana a los ejes de giro.

En cuanto al control y la electrónica, se utilizará un microcontrolador (ESP32 o ATmega328P), un driver MOSFET como el IRFZ44N (o equivalente) para gobernar el electroimán, así como finales de carrera para homing y elementos de señalización visual y sonora mediante LEDs y un buzzer de estado.

El software incluirá un firmware desarrollado en C/C++ y una interfaz gráfica en Python, implementada en Tkinter o PyQt. Esta ofrecerá un modo manual y un modo automático, además de control ON/OFF del electroimán y una cinemática inversa planar básica para la manipulación de piezas.

La alimentación del sistema se resolverá con una fuente capaz de abastecer tanto la lógica como la potencia, incorporando convertidores adecuados para los servos y el electroimán.

Finalmente, en el componente de documentación y docencia, se elaborará un manual de armado, una guía docente y un conjunto mínimo de cinco prácticas de laboratorio orientadas a la enseñanza y experimentación con el brazo robótico.

3.2. Fuera de alcance

Se considera fuera de alcance una versión implementada con actuadores lineales o hidráulicos (solo se documentan como alternativas). Además, incorporar algún tipo de visión artificial o seguimiento por cámara con planificación avanzada de trayectorias en 3D. Finalmente, se considera fuera de alcance la calibración metrológica de alta precisión o certificaciones industriales.

3.3. Criterios de aceptación

El dispositivo debe ser capaz de ejecutar trayectorias punto a punto tanto en modo manual como en modo automático. Asimismo, deberá alcanzar una tasa de éxito superior al 90 % en las tareas de agarre y manipulación de objetos, garantizando un desempeño confiable durante su operación.

De igual forma, contará con una rutina de referencia operativa que asegure la correcta inicialización del sistema, un mecanismo de paro de emergencia y límites mecánicos verificados para preservar la seguridad del equipo y del entorno.

Finalmente, el proyecto se entregará con un prototipo completamente ensamblado, acompañado del firmware correspondiente, la interfaz gráfica de usuario, un manual de usuario detallado y una guía docente que incluya cinco prácticas evaluables para su aplicación en el ámbito académico.

4. Metodología

4.1. Materiales

5. Resultados

6. Conclusiones

7. Apendice