






## Diseño de gripper para brazo robótico fanuc Gripper design for fanuc robotic arm

G. Hernández-López <sup>a,\*</sup>, L. A. Mier-Quiroga <sup>a</sup>, E. Coutiño-Moreno <sup>a</sup>, D. Maldonado-Onofre <sup>a</sup>, G. Soto-Mendoza <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Departamento de Ingeniería Electromecánica, Tecnológico Nacional de México: Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán, 50700, Jocotitlán, Estado de México, México.

<sup>b</sup> Departamento de Ingeniería Mecatrónica, Tecnológico Nacional de México: Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán, 50700, Jocotitlán, Estado de México, México.

### Resumen

El desempeño de un gripper en la industria resulta fundamental para garantizar precisión, eficiencia y adaptabilidad en los procesos de manipulación automatizada. Este artículo describe el diseño, implementación y validación de un gripper de tres dedos accionado por un motor paso a paso para el brazo robótico FANUC LR Mate 200iD. El dispositivo se desarrolla principalmente mediante impresión 3D, utilizando materiales PLA y TPU seleccionados con base en sus propiedades mecánicas y flexibilidad. Se realizan modelados tridimensionales y simulaciones estructurales en SolidWorks, además de la integración del sistema de control basado en una placa de desarrollo Arduino Uno, la cual integra un microcontrolador ATmega328P y el driver TB6600. Para el monitoreo de fuerza, se emplean sensores FSR y una interfaz eléctrica que recibe señales digitales de 24 VDC provenientes del controlador del robot. Los resultados experimentales muestran un funcionamiento estable, con buena precisión de agarre y repetibilidad en los ciclos de trabajo, lo que demuestra la viabilidad del prototipo para su integración en aplicaciones de automatización industrial. Finalmente, se discuten las diferencias entre la simulación y la práctica, y se proponen mejoras orientadas a incrementar la robustez y durabilidad del sistema.

**Palabras Clave:** Gripper, Robot manipulador, Motor paso a paso, Control, sensores FSR.

### Abstract

The performance of a gripper in industry is essential to ensure precision, efficiency, and adaptability in automated handling processes. This article describes the design, implementation, and validation of a three-finger gripper powered by a stepper motor for the FANUC LR Mate 200iD robotic arm. The device is developed primarily through 3D printing, using PLA and TPU materials selected based on their mechanical properties and flexibility. Three-dimensional modeling and structural simulations are performed in SolidWorks, in addition to the integration of the control system based on an Arduino Uno development board, which integrates an ATmega328P microcontroller and the TB6600 driver. For force monitoring, FSR sensors and an electrical interface that receives 24 VDC digital signals from the robot controller are used. The experimental results show stable operation, with good gripping accuracy and repeatability in the work cycles, demonstrating the prototype's viability for integration into industrial automation applications. Finally, the differences between simulation and practice are discussed, and improvements aimed at increasing the robustness and durability of the system are proposed.

**Keywords:** Gripper, Manipulator robot, Stepper motor, Control, FSR sensors.

### 1. Introducción

Los robots manipuladores utilizan diferentes dispositivos de interacción con el entorno, tales como pinzas (grippers), ventosas, herramientas de soldadura, sistemas de corte o herramientas de proceso. Estos dispositivos, comúnmente denominados herramientas terminales del robot, permiten realizar tareas específicas de manipulación o procesamiento.

Entre ellos, los grippers son ampliamente utilizados para la manipulación de objetos. Son elementos clave en los sistemas de automatización industrial, ya que posibilitan la manipulación precisa y eficiente de componentes con diversas geometrías y materiales (Samadikhoshkho et al., 2021; Gupta y Singh, 2022). En años recientes, el aumento en la necesidad de procesos automatizados ha fomentado el avance de grippers más adaptables, precisos y sensibles, lo que ha beneficiado la

\*Autor para la correspondencia: [luis.mier@tesjo.edu.mx](mailto:luis.mier@tesjo.edu.mx)

**Correo electrónico:** [hernandezlopezguillermo7@gmail.com](mailto:hernandezlopezguillermo7@gmail.com) (Guillermo Hernández-López), [luis.mier@tesjo.edu.mx](mailto:luis.mier@tesjo.edu.mx) (Luis Antonio Mier-Quiroga), [elvis.coutino@tesjo.edu.mx](mailto:elvis.coutino@tesjo.edu.mx) (Elvis Coutiño-Moreno), [daniel.maldonado@tesjo.edu.mx](mailto:daniel.maldonado@tesjo.edu.mx) (Daniel Maldonado-Onofre), [gilberto.soto@tesjo.edu.mx](mailto:gilberto.soto@tesjo.edu.mx) (Gilberto Soto-Mendoza)

utilización de tecnologías como la impresión 3D y los materiales poliméricos avanzados en su producción (Blanco et al., 2024; Nguyen et al., 2023). Estos dispositivos son cruciales en áreas donde la repetibilidad, la confiabilidad y la seguridad son aspectos esenciales para la eficiencia en la producción (ISO, 2022; Rodríguez et al., 2023).

En este escenario, la marca FANUC se ha establecido como una de las principales a nivel global en la producción de robots industriales, con una notable presencia en las industrias automotriz, electrónica y de manufactura avanzada (González Martínez et al., 2022). El modelo LR Mate 200iD se caracteriza por su exactitud, dimensiones reducidas y posibilidad de integración con diferentes herramientas de manipulación robótica, lo que lo posiciona como una plataforma flexible para la investigación y el desarrollo de soluciones robóticas innovadoras (Enrique, 2022). Sin embargo, diversas aplicaciones industriales demandan grippers con configuraciones o capacidades particulares que no siempre se encuentran en el mercado, lo que impulsa el desarrollo de dispositivos de agarre modulares y económicos que se puedan adaptar a diferentes entornos laborales (Pagalo Guamán y Lara Vera, 2023; Yumbla et al., 2025).

Por esta razón, este estudio muestra el diseño, la fabricación y la validación de un gripper de tres dedos movido por un motor paso a paso, creado principalmente a través de impresión 3D con materiales PLA y TPU. El equipo se conecta al brazo robótico FANUC LR Mate 200iD, incluyendo un sistema de control que utiliza un microcontrolador y un driver TB6600 para procesar señales de 24 VDC provenientes del controlador del robot. El objetivo fundamental es crear un prototipo funcional, replicable y validado experimentalmente que posibilite evaluar la precisión, repetibilidad y durabilidad del agarre en ciclos de trabajo automatizados.

En última instancia, el proyecto pretende apoyar el avance de soluciones abiertas y accesibles para la robótica tanto industrial como educativa, promoviendo la integración de tecnologías de fabricación aditiva y control electrónico en el desarrollo de sistemas de agarre robótico de nueva generación (Zhang et al., 2023; Yumbla et al., 2025).

## 2. Fundamentos y desarrollo del sistema

Desde los sistemas de sujeción mecánica rígida iniciales usados en la industria automotriz, los grippers han avanzado hacia diseños que imitan la naturaleza y poseen mayor flexibilidad y sensibilidad. Los modelos convencionales, fundamentados en estructuras metálicas con sistemas neumáticos o eléctricos, proporcionaban potencia y consistencia, aunque su capacidad de adaptación a objetos irregulares o delicados era más limitada cuando no se integran sensores de fuerza o elementos de contacto flexibles.

Las investigaciones actuales se han centrado en grippers flexibles y bioinspirados, que replican la función de las manos humanas o de organismos naturales para conseguir una sujeción más versátil (Nguyen et al., 2023; Yumbla et al., 2025).

Muchos de estos modelos pueden fabricarse mediante técnicas de manufactura aditiva como la impresión 3D,

posibilitan la inclusión de materiales suaves y sensores que enriquecen las capacidades de manejo en escenarios colaborativos (Blanco et al., 2024; Gupta & Singh, 2022).

En términos generales, los grippers se dividen en tres categorías principales: rígidas, flexibles e híbridas. Los rígidos se utilizan en actividades que demandan gran precisión y fuerza constante, los flexibles sobresalen por su capacidad de adaptación y seguridad en la interacción con personas, y los híbridos combinan ambos enfoques para aplicaciones avanzadas de robótica industrial y colaborativa (Samadikhoshkho et al., 2021; Zhang et al., 2023). La Figura 1 muestra ejemplos de estas categorías y sus características estructurales más relevantes.



Figura 1: Ejemplos de grippers para brazos robóticos.

### 2.1. Robot FANUC LR Mate 200iD

El robot FANUC LR Mate 200iD es un brazo robótico de seis ejes, muy empleado en contextos de automatización industrial y educación. Su diseño compacto y su capacidad de carga de hasta 7 kg lo hacen perfecto para aplicaciones de ensamblaje, paletizado, empaquetado y pruebas con diversas configuraciones de agarre (Enrique, 2022; González Martínez et al., 2022). Este modelo incluye el controlador R-30iB Plus, que facilita una comunicación rápida y exacta con dispositivos externos, como sistemas de visión y garras personalizadas. En el ámbito de este proyecto, el LR Mate 200iD actúa como soporte mecánico y cinemático para la integración de una pinza robótica de tres dedos, creada con un actuador paso a paso gestionado digitalmente. La Figura 2 presenta un diagrama general del robot y su área de trabajo, subrayando la incorporación del sistema de sujeción sugerido.

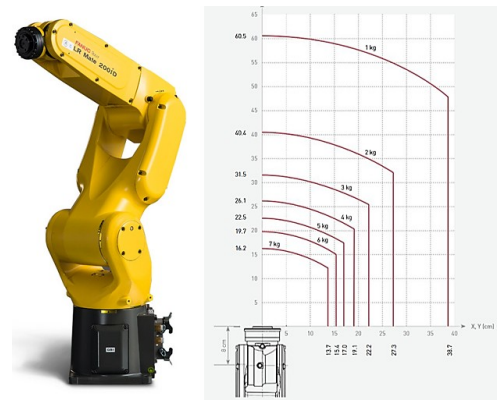


Figura 2: Diagrama general del robot FANUC LR Mate 200iD y su zona de trabajo.

## 2.2. Principios de funcionamiento del motor paso a paso

El sistema de operación del gripper está fundamentado en un motor paso a paso Nema 17, conocido por su habilidad para llevar a cabo movimientos angulares controlados y discretos con gran precisión. Este motor transforma impulsos eléctricos en movimientos mecánicos a través del control secuencial de sus bobinas, permitiendo así establecer la posición y la velocidad de giro sin requerir sensores externos (Pagalo & Lara, 2023).

Entre sus beneficios sobresalen el control preciso de la ubicación, la repetitividad del movimiento y la compatibilidad con controladores económicos como el modelo TB6600, utilizado en este proyecto. El controlador mencionado, junto a una placa de desarrollo Arduino Uno, administra las señales de dirección y paso, mientras que el microstepping regula la suavidad del desplazamiento y la fuerza ejercida sobre los objetos que se manipulan. Este principio es crucial para obtener un agarre firme evitando condiciones de operación que puedan afectar el desempeño eléctrico o mecánico del sistema.

## 2.3. Consideraciones para el diseño y control del gripper

El diseño del gripper se basó en principios de ergonomía, sencillez mecánica y versatilidad funcional. Se eligió una pinza de tres dedos creada por impresión 3D, cuyo diseño modular permite su integración con el robot FANUC. Cada dedo fue diseñado para lograr un contacto firme con diversas formas de objeto, repartiendo la fuerza de forma equilibrada.

Respecto al control, el sistema fue diseñado para funcionar con señales digitales de 24 VDC del robot, las cuales se interpretan como instrucciones para abrir o cerrar la pinza. La placa Arduino Uno funciona como interfaz lógica, interpretando las señales en una serie determinada de pasos hacia el driver TB6600, asegurando un movimiento controlado y evitando que el motor permanezca energizado innecesariamente una vez alcanzada la posición de agarre.

En el diseño se tomaron en cuenta también aspectos de seguridad y eficiencia energética, alineándose con la norma ISO 10218-1:2022 sobre seguridad en robots industriales, buscando que la operación de la pinza fuese estable, confiable y compatible con sistemas colaborativos (Rodríguez et al., 2023; ISO, 2022).

En resumen, esta sección fundamenta la base técnica y conceptual del sistema creado, combinando los principios mecánicos, electrónicos y de diseño que hicieron posible la creación de un gripper de tres dedos controlado electrónicamente, ajustable al robot FANUC LR Mate 200iD, enfocado en el aprendizaje y la exploración en automatización industrial.

## 3. Diseño y construcción del gripper

El desarrollo del gripper de tres dedos se planteó con el objetivo de lograr un sistema funcional, económico y compatible con el robot industrial FANUC LR Mate 200iD, capaz de manipular objetos de distintas geometrías. El proceso

de diseño se llevó a cabo siguiendo una metodología iterativa que abarcó desde el modelado tridimensional y simulación estructural, hasta la integración electrónica y las pruebas experimentales de funcionamiento. Este enfoque permitió obtener un dispositivo adaptable y de bajo costo, manteniendo la fiabilidad y precisión requeridas en entornos de automatización.

### 3.1. Diseño mecánico y modelado 3D

El gripper fue diseñado en SolidWorks considerando la interfaz de montaje y las restricciones geométricas de la brida del robot industrial necesarias para su integración mecánica. El sistema está formado por tres dedos organizados a 120°, movidos por un tornillo de avance lineal vinculado al motor paso a paso Nema 17, lo que posibilita convertir el movimiento rotativo en un desplazamiento lineal exacto. Cada dedo fue creado con una estructura ligera pero fuerte, teniendo en cuenta tanto la habilidad de agarre como la facilidad de fabricación.

El material elegido para la producción fue PLA de alta densidad, por su excelente rigidez, coste reducido y facilidad de fabricación a través de impresión 3D FDM. Esta tecnología facilitó hacer modificaciones rápidas en los prototipos y mejorar las geometrías basándose en los resultados de simulación. Se establecieron los parámetros de impresión para optimizar la resistencia en las áreas de carga, utilizando una densidad de relleno del 40 % y una altura de capa de 0.2 mm. La Figura 3 presenta el modelo CAD del agarre de tres dedos, donde se pueden observar las proporciones generales y la simetría en la disposición de los dedos.

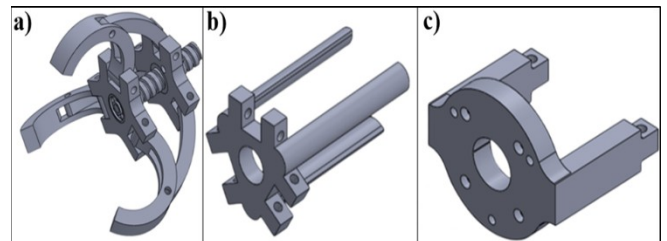


Figura 3: Modelo CAD inicial del gripper en SolidWorks. a) Vista isométrica del conjunto ensamblado. b) Base de acoplamiento y sistema de transmisión mediante tornillo de avance. c) Base estructural de motor.

En la Figura 4 se presenta el ensamble mecánico completo con su adaptación al tornillo de avance del motor NEMA 17, tal como se diseñó en el software CAD.

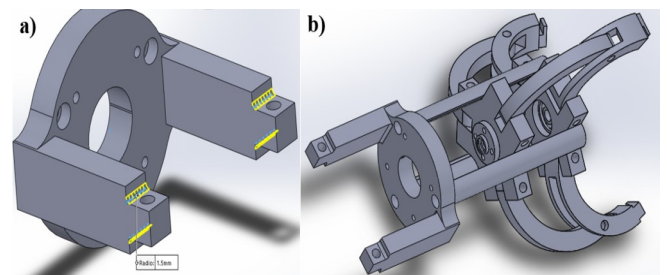


Figura 4: Diseño mejorado del gripper con dedos redondeados. a) Base estructural del dedo con radio de redondeo de 1.5 mm. b) Ensamblaje completo del gripper con mejoras geométricas implementadas.

### 3.2. Análisis estructural del diseño

Para validar el diseño antes de su fabricación, se realizó un análisis por elementos finitos (FEA) utilizando el módulo de simulación de SolidWorks. El estudio se enfocó en determinar las tensiones máximas, deformaciones y factores de seguridad al aplicar cargas equivalentes a las fuerzas de cierre del gripper.

Los resultados de la simulación mostraron una transmisión uniforme de esfuerzos a lo largo de la estructura del gripper, sin concentraciones críticas que comprometieran su integridad. Las zonas de mayor tensión se ubicaron en las uniones entre los dedos y las yemas flexibles, pero permanecieron dentro del comportamiento elástico de los materiales empleados. En conjunto, el análisis confirmó que el diseño ofrece una resistencia adecuada para las condiciones de operación previstas.

Para representar el efecto del agarre de un objeto, en la simulación se aplicó una carga equivalente de 1 kgf ( $\approx 9.8$  N) sobre la superficie de contacto de los dedos del gripper, dirigida de manera normal a la yema de cada dedo. Este valor fue seleccionado como una carga representativa, ya que corresponde aproximadamente al peso de algunos de los objetos manipulados durante las pruebas experimentales del sistema.

Bajo el supuesto de comportamiento elástico lineal utilizado en el análisis, la distribución de esfuerzos obtenida permite identificar las zonas críticas del diseño y puede escalarse proporcionalmente para otras condiciones de carga dentro del rango operativo del mecanismo.

La Figura 5 muestra la distribución de tensiones de Von Mises en los dedos del gripper, obtenida del análisis FEA.

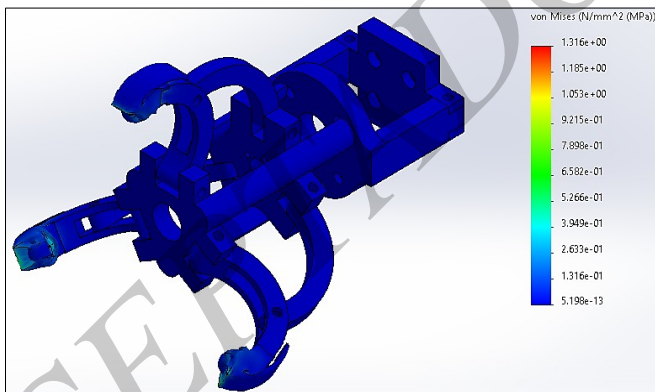


Figura 5: Distribución de tensiones de Von Mises en el modelo del gripper (simulación FEA).

Para la realización del análisis estructural se utilizaron las propiedades mecánicas de los materiales empleados en la fabricación del gripper. Estas propiedades se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1: Propiedades mecánicas de los materiales utilizados en el análisis estructural.

### 3.3. Sistema de accionamiento y control

El sistema de accionamiento del gripper sugerido se fundamenta en un motor paso a paso NEMA 17, que transforma el movimiento rotacional en lineal mediante un tornillo de avance conectado al eje. Este principio posibilita un control gradual del cierre y apertura de los dedos de la pinza, asegurando precisión en la posición final y consistencia en los ciclos de agarre.

El motor es manejado a través de un controlador TB6600, ajustado en microstepping 1/8, lo que ofrece una respuesta suave y constante. La tarjeta Arduino Uno se encarga del control lógico, generando las señales de dirección y paso hacia el driver, además de procesar la retroalimentación que llega de los sensores FSR (Resistencias que Sienten Fuerza).

Para garantizar la compatibilidad eléctrica con el robot FANUC LR Mate 200iD, se incorporó un módulo regulador de voltaje LM2596S, que convierte los 24 VDC proporcionados por el robot a 5 VDC, requeridos para alimentar el microcontrolador y los sensores. Esta transformación previene sobrecargas y asegura un suministro constante durante el funcionamiento continuo del sistema, garantizando la correcta interpretación de los sensores y el comportamiento estable del motor.

El esquema general del sistema de control, mostrado en la Figura 6, representa la conexión entre el motor, el controlador, el regulador, el microcontrolador y los sensores. Ese diagrama sintetiza la arquitectura electrónica utilizada y las señales de control entre el gripper y el robot.

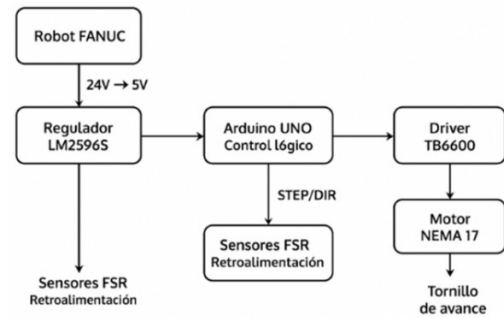


Figura 6: Diagrama general del sistema electrónico del gripper.

El driver TB6600, mostrado en la Figura 7, constituye el enlace entre el microcontrolador y el motor paso a paso. Su configuración de corriente y microstepping permite ajustar el par y la resolución angular del motor, optimizando el desempeño según las condiciones de carga del gripper.

Material	Módulo de elasticidad (E)	Límite de fluencia ( $\sigma_y$ )	Densidad ( $\rho$ )	Elongación a ruptura
PLA	3,5 GPa	60 MPa	1,24 g/cm <sup>3</sup>	6%
TPU	25 MPa	— (comportamiento elástico-plástico)	1,20 g/cm <sup>3</sup>	400 %



Figura 7: Driver de potencia TB6600 empleado en el sistema.

El microcontrolador Arduino Uno actúa como el núcleo del sistema, implementando la lógica de control que interpreta las señales digitales del robot y genera los pulsos requeridos para el accionamiento del motor. Además, gestiona las lecturas de los sensores FSR, permitiendo ajustar la fuerza de agarre de forma adaptativa.

Durante las pruebas experimentales, el Arduino Uno demostró un desempeño estable en la comunicación y control del gripper. El algoritmo implementado permitió abrir y cerrar la pinza con una respuesta precisa y tiempos de ciclo uniformes, validando la efectividad de la arquitectura electrónica seleccionada.

El proceso lógico ejecutado por el microcontrolador se resume en el diagrama de flujo mostrado en la Figura 8, donde se detalla la secuencia de lectura de señales, control de motor y monitoreo de la fuerza de agarre.

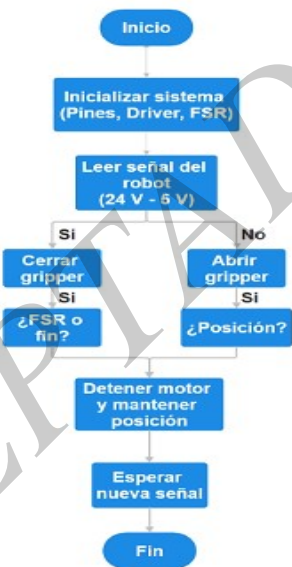


Figura 8: Diagrama de flujo del algoritmo implementado en el microcontrolador Arduino Uno.

Para mejorar el contacto con los objetos y aumentar la capacidad de adaptación del agarre, se desarrollaron diferentes geometrías de yemas flexibles mediante impresión 3D en material TPU. Se fabricaron tres prototipos principales: plano, piramidal y redondo, con el propósito de evaluar la distribución de fuerzas y el comportamiento ante objetos de

distintas formas y texturas. En la Figura 9 se presentan los prototipos impresos, destacando las diferencias geométricas entre cada diseño.



Figura 9: Prototipos de yemas impresas en 3D con distintas geometrías. a) Yema Plana. b) Yema Piramidal. c) Yema Redonda.

El diseño interno de las yemas incorpora un relleno tipo panel, mostrado en la Figura 10, el cual distribuye de manera uniforme la presión durante el agarre y mejora la flexibilidad estructural. Esta configuración permitió reducir el peso de la pieza y aumentar su capacidad de deformación controlada, otorgando mayor sensibilidad al conjunto sensor–yema.

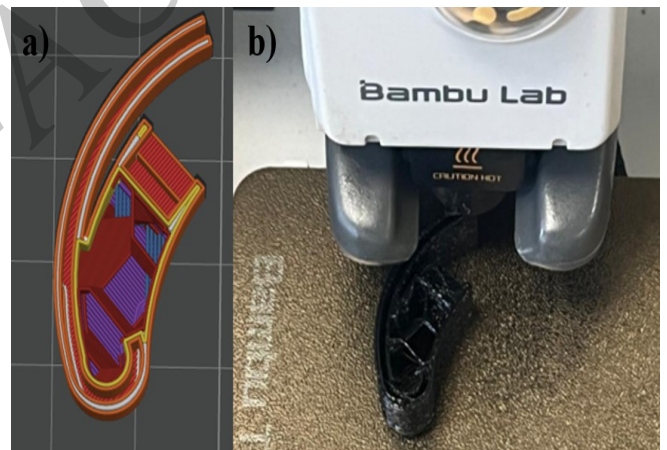


Figura 10: Detalle del relleno tipo panel en corte transversal de la pieza. a) Diseño de Yema redonda. b) Impresión de Yema (BambuLab A1).

De las geometrías analizadas, la yema redonda presentó el mejor desempeño en términos de adaptación y distribución de esfuerzos, por lo que fue seleccionada para integrar los sensores FSR en la siguiente fase del desarrollo. Esta elección permitió lograr una respuesta más estable y repetible en la detección de fuerzas de contacto.

Tabla 2: Conexiones eléctricas entre Arduino UNO, controlador TB6600 y motor paso a paso NEMA 17.

Elemento	Pin o terminal	Conexión hacia	Descripción de función
Arduino Uno	D2	PUL+ (TB6600)	Señal de pulso para el control de pasos del motor
Arduino Uno	D3	DIR+ (TB6600)	Señal de dirección de giro
Arduino Uno	GND	PUL- y DIR- (TB6600)	Tierra común entre Arduino y TB6600
Fuente de alimentación 12 V	V+	VCC (TB6600)	Alimentación principal del controlador
Fuente de alimentación 12 V TB6600	V- A+, A-, B+, B-	GND (TB6600) Bobinas del motor NEMA 17	Retorno de alimentación Salidas hacia las fases del motor
Motor NEMA 17	Cableado de 4 hilos	A+, A-, B+, B- (TB6600)	Conexión directa de las bobinas del motor

### Integración de sensores FSR

Para dotar al gripper de retroalimentación táctil, se integraron sensores de fuerza resistivos (FSR) en cada dedo. Estos sensores, ubicados bajo las yemas flexibles de TPU, permiten medir la presión ejercida sobre los objetos, optimizando la fuerza de agarre y evitando daños en piezas frágiles. En la Figura 11 se muestra el sensor FSR empleado.



Figura 11: Sensor FSR empleado en el gripper.

La Figura 12 presenta el montaje de los sensores FSR bajo las yemas flexibles del gripper.



Figura 12: Montaje de los sensores FSR bajo las yemas de TPU.

El circuito de conexión y acondicionamiento de señal se presenta en la Figura 13, correspondiente al divisor resistivo empleado para leer los valores de fuerza a través del microcontrolador.

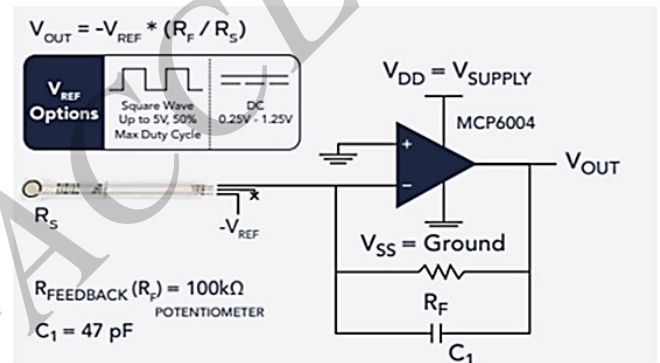


Figura 13: Circuito de conexión de los sensores FSR con divisor resistivo.

### 3.4. Resumen del sistema

La Tabla 2 presenta un resumen de los principales componentes electrónicos y mecánicos empleados en el desarrollo del prototipo, con sus características más relevantes.

## 4. Integración electrónica y funcionamiento del sistema

### 4.1. Integración electrónica del sistema

El sistema electrónico definitivo estuvo compuesto por una placa Arduino Uno, un controlador TB6600, el motor paso a paso NEMA 17 y los sensores FSR incorporados en los dedos. Todos los elementos fueron ensamblados sobre una base creada con impresión 3D, asegurando estabilidad estructural y organización en el cableado. La fuente de alimentación de 12 VDC fue regulada por el módulo LM2596S, que suministró 5 VDC para los sensores y el microcontrolador.

En la fase de pruebas, se comprobó el funcionamiento estable del sistema frente a cambios de tensión y la adecuada disipación térmica del driver. Los sensores FSR mostraron linealidad en el rango operativo previsto, mientras que el motor llevó a cabo los ciclos de apertura y cierre con una precisión constante.

La Figura 14 muestra el circuito electrónico final implementado, donde se aprecian las conexiones entre el Arduino Uno, el driver TB6600, el módulo reductor LM2596S y los sensores de fuerza.

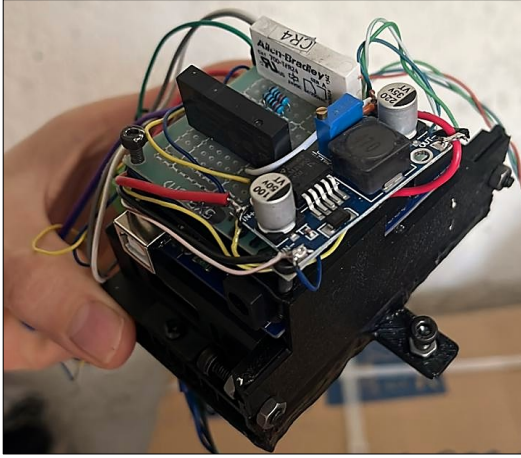


Figura 14: Circuito electrónico implementado para el control del gripper.

Los parámetros eléctricos más relevantes del sistema, así como las configuraciones de corriente y microstepping del driver, se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3: Parámetros eléctricos y configuraciones de control del sistema del gripper.

Componente	Valor/Configuración	Observaciones
Fuente de alimentación	12 VDC	Alimentación general del sistema
Regulador LM2596S	5 VDC salida	Alimentación de Arduino y sensores FSR
Driver TB6600	Corriente: 1.7 A / Microstepping: 1/8	Configuración estable para el NEMA 17
Motor paso a paso NEMA 17	Paso: 1.8°	Par de retención: 0.4 Nm
Señal de control FANUC	24 VDC → entrada lógica	Convertida mediante divisor resistivo
Sensor FSR	Rango 0–10 N	Linealidad aceptable dentro del rango operativo

El sistema completo demostró una respuesta rápida y confiable, manteniendo un funcionamiento continuo sin interrupciones ni sobrecalentamiento, validando así la correcta integración electrónica.

#### 4.2. Programación y lógica de control

La programación del gripper se desarrolló en el entorno de Arduino IDE, empleando lenguaje C/C++. El código se estructuró en módulos que facilitan la lectura y mantenimiento:

- Módulo de lectura de señal: interpreta las órdenes discretas enviadas por el robot.

- Módulo de control de pasos: define el sentido de giro, velocidad y número de pasos del motor.
- Módulo de lectura FSR: registra las variaciones de presión en las yemas de los dedos.

El algoritmo principal se fundamenta en una máquina de estados, que cambia entre las condiciones de inactividad, apertura y cierre, de acuerdo con la señal digital del controlador R-30iB Plus. Asimismo, se estableció una medida de seguridad que detiene el funcionamiento si los sensores registran una presión elevada.

La Figura 15 presenta el flujo del programa de control, que representa la secuencia de captura de señales, ejecución de movimientos del motor y retroalimentación a través de sensores.

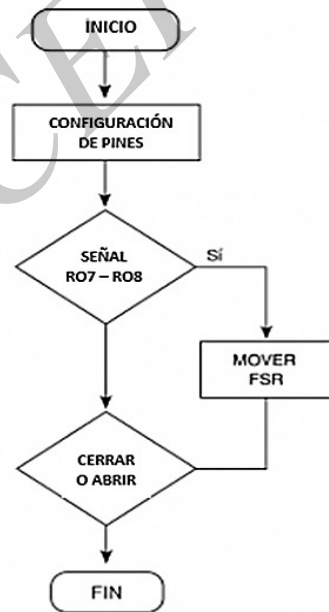


Figura 15: Diagrama de flujo del programa de control implementado en Arduino Uno.

Durante las pruebas funcionales, el gripper ejecutó el ciclo completo de cierre y apertura en 1.8 segundos, con una precisión de movimiento dentro del rango de  $\pm 0.2$  mm. El motor mantuvo su posición sin consumo adicional cuando no se encontraba en movimiento, gracias al par de retención controlado por el driver TB6600, que mantiene energizado el motor solo cuando es necesario para conservar la posición.

#### 4.3. Integración con el robot FANUC LR Mate 200iD

Para la integración física, el gripper fue instalado en el extremo del brazo robótico mediante una base adaptativa impresa en 3D, diseñada para ajustarse a la brida de montaje del robot FANUC LR Mate 200iD.

La conexión entre el robot y el gripper se realizó a través de señales discretas de 24 VDC del controlador R-30iB Plus, que fueron transformadas a niveles lógicos utilizando un divisor resistivo antes de entrar al Arduino Uno.

El programa del robot se creó en el Teach Pendant (TP), empleando el lenguaje de Programación TP. Se fijaron posiciones predeterminadas de movimiento y sincronización con la orden de cierre o apertura del gripper, facilitando la realización de tareas simuladas de manipulación. La Figura 16 muestra el ensamblaje final del gripper unido al robot FANUC durante las pruebas experimentales, evidenciando la adecuada integración mecánica y eléctrica del conjunto.

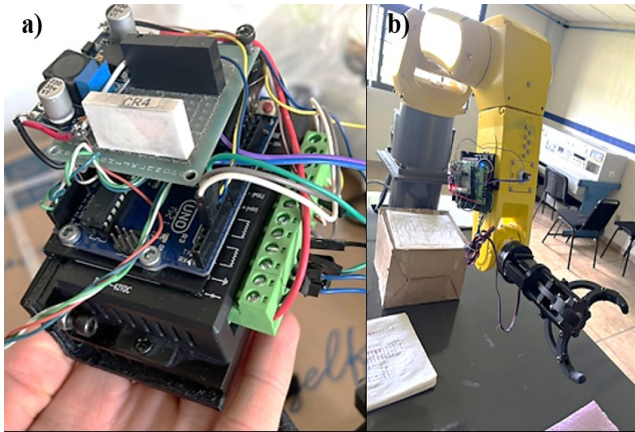


Figura 16: Gripper. a) Montaje electrónico del gripper. b) Montaje de gripper en brazo robótico FANUC.

Durante los ensayos, se comprobó que el sistema respondía en sincronía con los movimientos del robot, sin retardos perceptibles en la ejecución. La comunicación resultó estable incluso tras más de 50 ciclos continuos de operación, sin fallos eléctricos ni mecánicos.

#### 4.4. Resultados experimentales y validación final

Se llevaron a cabo pruebas de desempeño utilizando diversos objetos (cilíndricos, cúbicos y planos) para analizar la fuerza de sujeción, la exactitud del cierre y la repetibilidad del sistema.

Los resultados obtenidos indicaron un error máximo de ubicación de  $\pm 0.2$  mm, una fuerza media de agarre de 12 N y una repetibilidad mayor al 95 % en 30 ciclos seguidos. Estos valores son apropiados para actividades de manejo ligero y de educación en robótica industrial.

La Figura 17 ilustra el gripper en acción durante una prueba de agarre, en la que se observa la estabilidad del sistema al manejar objetos bajo el control del robot FANUC.

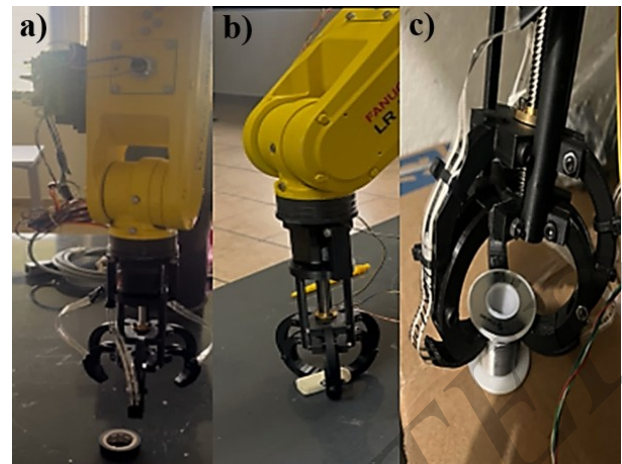


Figura 17: Objetos utilizados en las pruebas de sujeción. a) Gripper a prueba con objeto (Cinta). b) Gripper a prueba con objeto (Goma). c) Gripper a prueba con objeto (Carrete).

Estos resultados confirman la viabilidad del diseño propuesto, demostrando compatibilidad total con el entorno industrial FANUC y un comportamiento funcional estable durante las operaciones de agarre.

## 5. Discusión

El desarrollo del gripper de tres dedos presentado facilitó el análisis de una opción funcional y económica en comparación con sistemas comerciales empleados en robots industriales. En contraste con los grippers neumáticos convencionales o los servoelectrónicos, el diseño utilizado proporciona una estructura más liviana y una integración más fácil con el controlador del robot FANUC LR Mate 200iD.

Además, al comparar el prototipo desarrollado con grippers utilizados comúnmente en robots industriales, se observa que muchos de estos dispositivos emplean sistemas de accionamiento neumático o actuadores eléctricos especializados, los cuales suelen integrarse con controladores industriales dedicados. En contraste, el diseño propuesto utiliza componentes de disponibilidad accesible y tecnologías de fabricación como la impresión 3D, lo que permite desarrollar un sistema funcional para la manipulación de objetos con distintas geometrías en aplicaciones de automatización y experimentación robótica. Aunque el sistema presentado corresponde a un prototipo experimental, el diseño mecánico desarrollado puede servir como base para futuras implementaciones utilizando hardware de control de grado industrial.

En este proyecto se alcanzó la comunicación entre el robot y el actuador a través de una interfaz sencilla de señales discretas, lo que disminuye la cantidad de componentes electrónicos y facilita la programación. Esto constituye un beneficio significativo para objetivos académicos y educativos en automatización, además de simplificar futuras modificaciones o mejoras del sistema.

Ventajas del diseño.

Entre las ventajas más destacadas del prototipo se encuentran su ligereza (cerca de 350 g incluyendo el actuador y la estructura impresa), alcanzada mediante la fabricación de piezas en 3D; su bajo costo de puesta en marcha, dado que emplea componentes disponibles en el mercado como el motor NEMA 17 y el driver TB6600; y su versatilidad, que posibilita modificar la forma de la pinza o los parámetros de control según el objeto a manipular.

En comparación con diversos grippers comerciales utilizados en robots industriales, los cuales suelen emplear actuadores neumáticos o servomotores y estructuras metálicas, el prototipo desarrollado presenta una reducción significativa en peso y complejidad mecánica. Muchos sistemas comerciales priorizan la robustez y capacidad de carga, lo que incrementa su costo y dificulta su adaptación en entornos educativos o de investigación.

En contraste, el diseño propuesto busca un equilibrio entre funcionalidad, simplicidad y accesibilidad, utilizando manufactura aditiva y componentes electrónicos de bajo costo. Esto permite una rápida modificación del diseño y facilita su implementación en plataformas de investigación y enseñanza en robótica.

Limitaciones y mejoras futuras.

En las pruebas experimentales se identificaron ciertas limitaciones vinculadas al tipo de control empleado. El sistema funciona exclusivamente en modo de posición abierta/cerrada, con retroalimentación de fuerza restringida proporcionada por los sensores FSR. Estos sensores posibilitan la detección del contacto con el objeto o el límite de cierre, pero no se utilizan en un bucle de control lineal que regule la fuerza aplicada. Esto podría optimizarse mediante la inclusión de sensores de presión o corriente que faciliten un control de agarre más preciso y adaptable.

Del mismo modo, la estructura fabricada en material PLA puede ser reemplazada por compuestos más fuertes, como nylon o PETG, en aplicaciones que necesiten mayor resistencia. Una vía adicional de optimización implica la incorporación de control inteligente, utilizando algoritmos de ajuste adaptativo o comunicación serial directa con el controlador del robot para coordinar movimientos complejos.

En total, el prototipo evidenció que se puede lograr un rendimiento eficiente a través de una configuración asequible, preservando un equilibrio apropiado entre costo, funcionalidad y sencillez de implementación.

Aunque el sistema fue implementado utilizando una plataforma de control basada en Arduino para facilitar el desarrollo y validación del prototipo, la arquitectura mecánica y de control propuesta permite su adaptación a plataformas de control de grado industrial en futuras implementaciones. De esta manera, el diseño presentado puede considerarse como

una base para el desarrollo de sistemas de agarre robótico orientados a aplicaciones de automatización industrial.

## 6. Conclusiones

La pinza diseñada demostró ser completamente compatible con el robot FANUC LR Mate 200iD, posibilitando su funcionamiento controlado a través de señales discretas desde el controlador industrial. La utilización del motor paso a paso NEMA 17 junto con el driver TB6600 facilitó un control consistente y repetitivo, apto para actividades de manipulación ligera.

La producción a través de impresión 3D se constituyó en una opción efectiva para la creación ágil de prototipos, disminuyendo notablemente los gastos y el tiempo de edificación. Asimismo, el diseño modular del agarre permite su mantenimiento, modificación y ajuste a diversas aplicaciones educativas y de automatización económica.

En líneas generales, el sistema satisface los objetivos establecidos al comienzo del proyecto, confirmando la factibilidad de un actuador mecatrónico de diseño propio que puede integrarse a un robot industrial de alta precisión.

## Referencias

- Blanco, K., Navas, E., Emmi, L., Fernández, R., 2024. Manufacturing of 3D printed soft grippers: A review. *IEEE Access* 12(10), 30434–30436.
- Enrique, C. I., 2022. Diseño y simulación de gripper intercambiable entre robot FANUC LR Mate 200iD y MOTOMAN MH5F [Tesina de maestría, CIATEQ].
- González Martínez, A., García, D., Hernández, J., Pineda, M., 2022. Diseño de gripper para robot FANUC LR Mate 200iD aplicando el método de optimización topológica. *Científica* 26(2), 1–16.
- Gupta, M., Singh, A., 2022. 3D printing for robotic gripper design: Applications and future trends. *Robotics and Manufacturing* 51(3), 73–81.
- ISO, 2022. ISO 10218-1:2022 – Robots and robotic devices – Safety requirements for industrial robots – Part 1: Robots. International Organization for Standardization.
- Nguyen, V. P., Dhyhan, S. B., Mai, V., Han, B. S., Chow, W. T., 2023. Bioinspiration and biomimetic art in robotic grippers. *Micromachines* 14(9), 7–11.
- Pagalo Guamán, J. A., Lara Vera, C. A., 2023. Diseño de una garra adaptativa de bajo costo basada en actuadores electromecánicos y eslabones rígidos [Proyecto integrador]. Universidad de Guayaquil.
- Rodríguez, L., Pérez, M., Rojas, C., Méndez, A., 2023. El papel de los sistemas de interbloqueo en la seguridad robótica. *Revista Control Industrial y Robótica* 11(1), 89–95.
- Samadikhoshkho, Z., Zareinia, K., Janabi-Sharifi, F., 2021. A brief review on robotic grippers classifications. *IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE)* 2, 1–4.
- Yumbla, F., Paredes, R., Ortiz, J., Medina, L., 2025. An open-source 3D printed three-fingered robotic gripper for adaptable and effective grasping. *Biomimetics* 1, 16.
- Zhang, L., Li, Y., Chen, X., 2023. Design of a soft gripper for industrial robot manipulation. *Journal of Intelligent Information Systems* 39(1), 45–56.