# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

## TEMA:

# "EFECTOR FINAL TIPO PINZA DE DOS DEDOS CON CONTROL DE FUERZA DE AGARRE PARA MANIPULACIÓN DE OBJETOS CILÍNDRICOS"

**Trabajo de grado previo a la obtención de título de Ingeniero en Mecatrónica**

**Línea de investigación:** Salud y Bienestar Gestión, producción, productividad, innovación y Desarrollo socioeconómico.


**Autor:**

Juan Sebastián Chagna Carranco

**Directora:**

Ing. Luz María Tobar Subía Contento

**Asesor:**

Ing. Cosme Damián Mejía Echeverría


Ibarra, 19 de junio de 2026

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**
DIRECCIÓN DE BIBLIOTECA

# AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

| DATOS DE CONTACTO | |
|---|---|
| **APELLIDOS Y NOMBRES** | Chagna Carranco Juan Sebastián |

| DATOS DE LA OBRA | |
|---|---|
| **TÍTULO:** | Efector final tipo pinza de dos dedos con control de fuerza de agarre para manipulación de objetos cilíndricos. |
| **AUTOR(ES):** | Juan Sebastián Chagna Carranco |
| **FECHA:** | 19/06/2026 |
| **PROGRAMA:** | ■ GRADO ☐ POSGRADO |
| **TITULO POR EL QUE OPTA:** | Ingeniero en Mecatrónica |
| **DIRECTORA / ASESOR:** | Ing. Luz María Tobar Subía Contento / Ing. Cosme Damián Mejía Echeverría. |

## 2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 19 días del mes de junio de 2026

**EL AUTOR:**




Juan Sebastián Chagna Carranco

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

# CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 19 de junio de 2026

Ing. Luz María Tobar Subía Contento

DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

*(f)*……

……

Ing. Luz María Tobar Subía Contento
C.C.: 1002444204

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

# APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificado del trabajo de Integración Curricular "Efector final tipo pinza de dos dedos con control de fuerza de agarre para manipulación de objetos cilíndricos" elaborado por Juan Sebastián Chagna Carranco, previo a la obtención del título de INGENIERO EN MECATRÓNICA, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
LUZ MARIA TOBAR SUBIA CONTENTO

*(f)*……

Ing. Luz María Tobar Subía Contento
C.C.: 1002444204

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
COSME DAMIAN MEJIA ECHEVERRIA

*(f)*……

Ing. Cosme Damián Mejía Echeverría
C.C.: 1002641288

# DEDICATORIA

Dedico este trabajo, primeramente, a Dios y a todos mis familiares que apostaron y confiaron en mí, especialmente a mi padre Juan Carlos Chagna Pozo, a mi madre Nelly Cumandá Carranco Cifuentes por ser un ejemplo de superación y de lucha constante por ser mejores padres día tras día, enseñándome realmente el valor y el esfuerzo que requiere conseguir los objetivos de vida, que el rendirse no es una opción y que siempre contaré con ellos como un apoyo de vida.

A mi hermana Dayanara Salomé Chagna Carranco por ser un ejemplo de nunca abandonar nuestras metas, por todos los consejos buenos, malos y por la paciencia.

A mi hermano Juan Carlos Chagna Carranco por el apoyo moral y por ser una inspiración a ser un mejor hermano y un ejemplo de disciplina.

A mi sobrina Danna Pauleth Monroy Chagna por ser la motivación para ser un mejor tío.

Finalmente, me dedico a mi este documento en el cual se ve reflejado todo el esfuerzo, sacrificio, compromiso, horas de trabajo y estudio que requiere el obtener este objetivo.

# AGRADECIMIENTO

A mis padres, que estuvieron a lo largo de mi trayectoria estudiantil, estuvieron en las buenas y malas, siempre contando con ellos a pesar de las dificultades que se presentaron en el proceso y recordándome que yo sí puedo lograrlo.

A mis hermanos por siempre apoyarme, ser pacientes y darme la confianza para demostrar que siempre se puede ser mejor persona y un mejor hermano.

A mis docentes, por su excelente preparación, orientación y por compartir los conocimientos que han obtenido a lo largo de su trayectoria profesional dentro de las aulas. A mi tía, Ing. Consuelo Carranco por estar pendiente de mi desde nivelación y por todos los empujones para seguir adelante.

A mis primos, John Criollo e Isaac Quintanilla por el apoyo moral y por las conversaciones a medianoche de que se debe siempre conseguir las metas planteadas y más.

A mis mejores amigos, Lic. Josué Chiliquinga e Ing. Kevin Gómez por esa larga trayectoria de amistad llena de valores y tiempo de calidad.

A mi tutora, Ing. Luz María Tobar Subía Contento por su gran aporte de conocimiento, su paciencia y por ser una guía para culminar este trabajo exitosamente.

Agradecer a todas las personas que estuvieron en este duro proceso, gracias a todos por darme su apoyo, extenderme la mano de una u otra manera, recordarme que todo es posible en esta vida y recuerden que los que apostaron por mí, este año cobran.

Detrás de este trabajo existe un gran esfuerzo, sacrificio, horas de trabajo, bajones emocionales, pensamientos de abandono, soledad, pero queda demostrado que a pesar de las dificultades también existen personas que brindan apoyo, risas y tiempo de calidad.

Mi deseo es que el presente sirva de inspiración para futuros estudiantes de ingeniería, que no se rindan, que por más duro que se ponga el semestre, dejen todo lo malo a un lado, estudien y nunca abandonen la carrera, que la disciplina y constancia siempre vence al talento, y el obtener este logro créanme que va a valer la pena toda la vida, siempre y cuando se mantenga la humildad como prioridad.

# RESUMEN

Este trabajo desarrolla un efector final tipo pinza con control de fuerza de agarre, orientado a la manipulación de objetos cilíndricos de distintas dimensiones y peso variable, mediante una solución adaptable y funcional. La investigación siguió una metodología documental, descriptiva y experimental. En primer lugar, se revisó el estado del arte sobre efectores finales y sistemas de control de agarre; posteriormente, se diseñó el mecanismo, se realizaron simulaciones del sistema de control y se fabricó la estructura mediante impresión 3D, integrando los componentes electrónicos necesarios.

Aunque la estructura principal del Gripper es rígida, el sistema incorpora resortes que le proporcionan flexibilidad mecánica. Esta característica permite que la pinza se abra ligeramente y se adapte a variaciones en el diámetro de los objetos cilíndricos durante la manipulación, mejorando su capacidad de ajuste y agarre.

El diseño fue modelado en software para asegurar el correcto ensamble de las piezas y evitar interferencias. Se seleccionó PLA por su resistencia, durabilidad y facilidad para realizar rediseños rápidos mediante impresión 3D. Las simulaciones mediante diagramas de bloques permitieron verificar el comportamiento del control de fuerza usando un sensor angular, con una respuesta estable.

El control de fuerza se relaciona con la apertura de la pinza, ya que la posición de los dedos determina el contacto con el objeto y la fuerza de agarre aplicada. Para este análisis, se consideró una configuración simétrica, lo que permitió calcular las aperturas mínima y máxima de la pinza en función del diámetro de los objetos cilíndricos. Además, estos cálculos permitieron estimar el torque requerido por el servomotor para accionar el mecanismo y garantizar un agarre adecuado.

Los resultados evidencian que el diseño mecánico es funcional, que los componentes electrónicos seleccionados son compatibles con la implementación y que se cumplen los parámetros de diseño establecidos al inicio del proyecto. El sistema alcanzó un torque final de 1,83 kg·cm al aplicar 5 V, con un tiempo de respuesta de entre 5 y 6 s, reduciendo la presencia de sobre impulsos. Finalmente, el prototipo logró manipular objetos cilíndricos de entre 100 y 300 gramos.

**Palabras clave:** efector, final, control, fuerza, dispositivos, cilíndricos, impresión 3D, durabilidad, estructura, sensor, convergentes, mecánico, electrónicos, diseño, parámetros.

## ABSTRACT

This work develops a gripper-type end effector with gripping force control, designed for manipulating cylindrical objects of varying dimensions and weights, using an adaptable and functional solution. The research followed a documentary, descriptive, and experimental methodology. First, the state of the art on end effectors and gripping control systems was reviewed; subsequently, the mechanism was designed, simulations of the control system were performed, and the structure was manufactured using 3D printing, integrating the necessary electronic components.

Although the Gripper's main structure is rigid, the system incorporates springs that provide mechanical flexibility. This feature allows the gripper to open slightly and adapt to variations in the diameter of the cylindrical objects during manipulation, improving its adjustment and gripping capabilities.

The design was modeled in software to ensure the correct assembly of the parts and avoid interference. PLA was selected for its strength, durability, and ease of rapid redesign using 3D printing. Simulations using block diagrams allowed for verification of the force control behavior using an angular sensor, with a stable response. Force control is related to the gripper opening, as the finger position determines contact with the object and the applied gripping force. For this analysis, a symmetrical configuration was considered, allowing the calculation of the minimum and maximum gripper openings based on the diameter of the cylindrical objects. Furthermore, these calculations allowed for the estimation of the torque required by the servomotor to actuate the mechanism and ensure a proper grip.

The results demonstrate that the mechanical design is functional, that the selected electronic components are compatible with the implementation, and that the design parameters established at the beginning of the project are met. The system achieved a final torque of 1.83 kg·cm when applying 5 V, with a response time between 5 and 6 s, reducing the presence of overshoots. Finally, the prototype successfully manipulated cylindrical objects weighing

between 100 and 300 grams.

**Keywords:** effector, end, control, force, devices, cylindrical, 3D printing, durability, structure, sensor, convergent, mechanical, electronic, design, parameters.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA ..... ii
2. CONSTANCIAS ..... iii
AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD .. **¡Error! Marcador no definido.**
CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR ..... iv
APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR ..... v
DEDICATORIA ..... vi
AGRADECIMIENTO ..... vii
RESUMEN ..... ix
ABSTRACT ..... x
ÍNDICE DE CONTENIDOS ..... xii
ÍNDICE DE FIGURAS ..... xv
ÍNDICE DE TABLAS ..... xvii
CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN ..... 1
1.1 Planteamiento del problema ..... 1
1.2 Objetivos ..... 1
1.2.1 Objetivo General ..... 1
1.2.2 Objetivos Específicos ..... 2
1.3 Alcance y delimitación ..... 2
1.4 Justificación ..... 2
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO ..... 4
2.1 Antecedentes ..... 4
2.2 Bases Teóricas ..... 5
2.2.1 Polímero PLA ..... 5
2.2.2 Impresión 3D ..... 5
2.2.3 Tipos de efectores finales ..... 6
2.2.3.1 Efector final de dos dedos. ..... 6
2.2.3.2 Efector final de 3 dedos. ..... 6
2.2.3.3 Efector final con dedos flexibles. ..... 6
2.2.3.4 Efector final de bolas flexibles rellenas de grano. ..... 6
2.2.3.5 Efector final de fuelle ..... 7
2.2.4 Servomotores ..... 7
2.2.5 Microcontroladores ..... 7
2.2.6 Control PID ..... 8

CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO ..... 9
3.1 Enfoque y tipos de investigación ..... 9
3.2 Diseño de la Investigación ..... 9
3.2.1 Fase 1: Revisión e investigación……9
Actividad 1: Investigación del estado del arte sobre efectores finales……9
Actividad 2: Investigación sobre métodos de agarre de efectores finales tipo pinza……..9
Actividad 3: Comparación con diseños existentes y soluciones implementadas en la industria……9
Actividad 4: Identificación de las mejores prácticas y tendencias emergentes en el diseño de efectores finales……9
Actividad 5: Comprensión de la aplicación del diseño……..9
3.2.2 Fase 2: Diseño del sistema mecánico y electrónico del efector final……..……9
Actividad 1: Planteamiento de propuesta de diseño……...……..10
Actividad 2: Selección de materiales……..……..10
Actividad 3: Diseño CAD del prototipo…….……..10
Actividad 4: Diseño del sistema electrónico……..……..10
3.2.3 Fase 3: Construcción del prototipo propuesto……...10
Actividad 1: Construcción de la estructura del dispositivo……..…10
Actividad 2: Integración de elementos mecánicos y electrónicos……....11
Actividad 3: Programación de la fuerza de agarre……11
3.2.4 Fase 7: Validación del funcionamiento del efector final…….……..11
Actividad 1: Realización de pruebas de funcionamiento……..11
Actividad 2: Recalibración y/o corrección de posibles errores de movimiento y agarre……..11
Actividad 3: Elaboración del documento escritor……..……..11
CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y ANÁLISIS ..... 12
4.1 Planteamiento de propuestas de soluciones..... 12
4.2 Propuesta de diseño..... 12
4.3 Análisis de criterios..... 14
4.4 Cálculo de fuerza de agarre..... 16
4.5 Diseño CAD del efector final..... 19
4.5.1 Pernos de sujeción ..... 17
4.5.2 Pasadores cilíndricos ..... 17
4.5.3 Resortes a tracción..... 18
4.5.4 Nylon..... 19

4.6 Sistema electrónico ..... 19
4.6.1 Servomotor ..... 19
4.6.2 Cables de conexión ..... 20
4.6.3 Microcontrolador ..... 21
4.6.4 Sensor de posición ..... 21
4.7 Construcción del prototipo ..... 22
4.8 Programación del sistema de control PI ..... 24
4.8.1 Diagrama de flujo – Sistema de control PI ..... 303
4.8.2 Diagrama de conexiones electrónicas ..... 303
4.9 Desarrollo experimental ..... 27
4.9.1 Cálculos de planta por controlar ..... 30
4.9.2 Planta a controlar ..... 32
4.9.3 Esquema de control PI para la articulación 1 ..... 33
4.9.4 Esquema de control PI para la articulación 2 ..... 34
4.9.5 Confirguración del controlador PI (articulación 1) ..... 34
4.9.6 Ajuste experimental del control PI (articulación 2) ..... 34
5 Pruebas de funcionamiento ..... 37
5.1.1 Control PI – dedo derecho ..... 38
5.1.2 Control PI – dedo izquierdo ..... 39
5.1.3 Control PI – botella vacía ..... 41
5.1.4 Control PI – botella con agua ..... 42
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ..... 44
Referencias ..... 46
Anexos ..... 48

# ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Boceto 1 de la propuesta de diseño tipo pinza de 2 dedos ..... 12
Fig. 2. Boceto 2 de la propuesta de diseño tipo ponza de 2 dedos ..... 16
Fig. 3. Diseño CAD de la pinza con sus elementos mecánicos. ..... 17
Fig. 4. Perno Avellanado M4x07x30. ..... 18
Fig. 5. Pasadores cilíndricos con cabeza tipo hongo. ..... 19
Fig. 6. Resortes experimentales a tracción de 20mm. ..... 20
Fig. 7. Servomotor MG90S y sus adaptadores de engrane. ..... 21
Fig. 8. Microcontrolador Arduino Mega 2560 con su cable de conexión. ..... 22
Fig. 9. Sensor de posición BK10-h3. ..... 23
Fig. 10. Estructura en espacio virtual para su impresión en 3D. ..... 23
Fig. 11. Estructura impresa en 3D. ..... 24
Fig. 12. Efector final fase de implementación de estructura mecánica y electrónica. ..... 25
Fig. 13. Efector final tipo pinza con control de fuerza de agarre para manipulación de objetos cilíndricos. ..... 31
Fig.14. Programación del sistema de control para los dos dedos de la pinza. a) Pinza derecha equivalente a la articulación 1. b) Pinza derecha equivalente a la articulación 2. .. 32
Fig. 15. Diagrama de flujo para la programación del sistema de control PI. ..... 33
Fig. 16. Diagrama de conexiones entre servomotores, sensores y microcontrolador. ..... 34
Fig. 17. Diagrama de planta a controlar. ..... 35
Fig. 18. Respuesta de la planta a°nte una señal tipo step. ..... 35
Fig. 19. Respuesta de la planta ante una señal tipo ramp ..... 36
Fig. 20. Diagrama de bloques del esquema de control de la articulación 1 ..... 36
Fig. 21. Diagrama de bloques del esquema de control de la articulación 2 ..... 37
Fig. 22. Señal de referencia y posición real – articulación 1 ..... 37
Fig. 23. Señal de referencia y posición real – articulación 2. ..... 38
Fig. 24. Ventana del software para la configuración de las ganancias del controlador del Kp, Ki ..... 40
Fig. 25. Configuración del límite de saturación del PI. ..... 42
Fig. 26. Simulación de posición inicial del efector final. ..... 43
Fig. 27. Simulación de posición 90° del efector final. ..... 43

Fig. 28. Señal de referencia y real – articulación 1 ..... 43
Fig. 29. Señal de referencia y real – articulación 2. ..... 43
Fig. 30. Evolución de señales - dedo derecho. a) Señal de referencia b) control PI, c) sensor linealizado..... 43
Fig. 31. Evolución de señales - dedo izquierdo. a) Señal de referencia b) control PI, c) sensor linealizado ..... 43
Fig. 32. Evolución de señales aplicando una carga - botella vacía. a) Señal de referencia b) control PI, c) sensor linealizado ..... 43
Fig. 33. Evolución de señales aplicando una carga - botella con agua. a) Señal de referencia, b) control PI, c) Sensor linealizado ..... 43

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de características de efectores finales ..... 7
Tabla 2. Comparación de criterios de diseño ..... 7
Tabla 3. Variables para el cálculo de la fuerza de agarre ..... 16
Tabla 4: Características del PLA ..... 18
Tabla 5. Características del perno de sujeción. ..... 19
Tabla 6. Características del pasador cilíndrico. ..... 20
Tabla 7. Características del resorte ..... 20
Tabla 8. Caracteristicas del nylon ..... 21
Tabla 9. Parámetros planteados para servomotor. ..... 22
Tabla 10. Características de cable de un solo hilo conductor. ..... 22
Tabla 11. Características del microcontrolador Arduino mega 2560. ..... 22
Tabla 12. Características del sensor BK10-h3 ..... 22
Tabla 13. Valores de Kp y Ki en articulación 1. ..... 22
Tabla 14. Valores de Kp y Ki en articulación 2. ..... 22

# CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

## 1.1 Planteamiento del problema

Los efectores finales en la industria robótica son una herramienta la cual tiene como objetivo el manipular, agarrar o mover diferentes tipos de objetos, esto se realiza dentro de una trayectoria siendo una de estas del punto A hacia un punto B y viceversa. Por otro lado, estos efectores finales son utilizados en las industrias robóticas ya que, poseen multifuncionalidad como precisión, agarre, transportación, carga y descarga de objetos e incluso realizan tareas repetitivas [1].

El costo de diseño de un efector final está alrededor de 3297, 87 dólares americanos sin incluir el costo de mantenimiento mensual o anual. A esto se le agrega el costo de calibración del o los efectores finales por tal motivo se busca que el diseño sea multifuncional, en otras palabras, que logre realizar más acciones con el mínimo número de movimientos [2].

Existen restricciones a la hora de diseñar efectores finales ya que, la mayoría de estos son exactamente destinados para un objeto con características específicas o parámetros establecidos como lo es el efector final soft, efector final de vacío entre otros, lo cual hace que estos no sean efectivos a la hora de realizar procesos de manufactura flexible o procesos industriales. De esta manera surgen otros tipos de restricciones como la fuerza en el agarre de diferentes objetos con diferentes pesos y formas [3].

Conforme se utiliza el efector final este se va descalibrando y desgastando por su uso, al no darle un mantenimiento correcto ya sea preventivo o correctivo este tiende a ser menos preciso, provocando un alto riesgo de accidentes al estar manipulando o transportando objetos altamente cortantes que ponen en peligro la vida de los colaboradores de la empresa [4].

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo General

Desarrollar un efector final tipo pinza de dos dedos con control de fuerza de agarre para manipulación de objetos cilíndricos.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

• Determinar los requerimientos para el diseño incluyendo materiales y mecanismo de control de movimiento basados en los recientes avances de efectores finales comerciales y de investigación.

• Diseñar el sistema electrónico y mecánico del efector final de dos dedos para manipulación de objetos cilíndricos asegurando el control de la fuerza en el agarre.

• Construir el prototipo propuesto.

• Validar el funcionamiento del efector final tipo pinza para las condiciones de operación establecidas.

## 1.3 Alcance y delimitación

El presente tiene como alcance el diseño de un efector final tipo pinza de dos dedos con control de fuerza de agarre para manipular objetos cilíndricos de diferentes pesos. Este diseño propone un dispositivo que controle la fuerza de agarre de acuerdo con el peso del objeto.

Posteriormente se programará el sistema, se construirán todos los componentes necesarios para su ensamble y finalmente, se probará el dispositivo para validar su funcionamiento.

## 1.4 Justificación

En el ámbito investigativo, el diseño, desarrollo y construcción de un efector final sería un aporte para el campo de la robótica ya sea industrial o de servicios ya que, de este modelo se podrían realizar optimizaciones e implementaciones más complejas con mejores parámetros y que sean más eficientes a la hora de cumplir con su funcionalidad.

En el aspecto social, impulsaría la matriz productiva del Ecuador, debido a que se crearían fuentes de trabajo en diferentes campos como el transporte del producto, consumo de material local, mano de obra local, e innovación en el campo tecnológico ecuatoriano.

En el ámbito económico, al ser un dispositivo de bajo costo, sería una solución a la gran demanda existente por parte de empresas ecuatorianas ya que, habría ahorro de inversión en la compra de elementos electrónicos y repuestos, así como el mantenimiento y calibración serían más accesibles debido a que los materiales utilizados se producirían dentro del país.

En el sector educativo, sería un gran aporte de conocimiento debido a que con este se podría ayudar a futuros ingenieros y docentes a desarrollar más habilidades para su enseñanza en escuelas, en colegios o universidades y así captar la atención de sus estudiantes de pregrado o posgrado.

# CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

## 2.1 Antecedentes

El estudio de una pinza blanda imprimible en 3D para la manipulación de objetos con formas complejas. El método utilizado fue el diseño con materiales flexibles. Entre sus resultados se destaca la funcionalidad del efector final en un 100% logrando manipular objetos con formas complejas, así como también objetos grandes y pequeños [5].

Los efectores finales en la industria son esenciales ya que, estos poseen la función de sostener, agarrar y manipular objetos en general. Sin embargo, controlar ciertos parámetros como el agarre y la fuerza han sido complejos, por lo que se han desarrollado varios diseños para solucionar esta necesidad [6].

Los grippers se han ido desarrollando gracias a las necesidades críticas en su agarre para objetos rígidos, ligeros, entre otros. De esta manera, se han implementado los métodos los cuales se basan en la retroalimentación continua y en la retroalimentación por ramificación lógica del movimiento. El primer método consiste en dar una solución controlando la impedancia, la rigidez y la amortiguación. El segundo método consiste en una predicción de varios movimientos discretos que llegan a su fin al encontrarse con una superficie [7].

Con la finalidad de replicar el agarre, los movimientos y funcionalidad de la mano humana en 2014 se desarrolló un estudio de un material denominado IPMC el cual responde a sus siglas como "Compuesto de Polímero-Metal Iónico". Este actúa deformándose con la aplicación de voltajes bajos y replicando el movimiento de una pinza en este caso de dos articulaciones [8].

Se planteó un efector final el cual se compone de un mecanismo de cuatro barras y posee una abertura máxima de 60 mm logrando levantar un peso final entre 20 y 1000 g. Este se realizó en 2017 y se complementó realizando las simulaciones en un software CAD para su respectivo análisis de elementos finitos [9].

En 2018 se realizó la presentación de una pinza de una sola pieza de dos dedos la cual se basa en un material tipo polímero e impresión 3D, aplicando la característica de un actuador haciendo que este prototipo logre aplicar un agarre adaptativo de diferentes formas, tamaños y pesos de frutas y caracterizándose por su elasticidad y bajo costo para su implementación [10].

En 2020 se creó un modelo basándose en un concepto de agarre tipo pinza o de dos dedos con engranaje diferencial, el cual se lo construyó con impresión 3D y utilizando tecnología FDM la cual consiste en un modelad por deposición fundida. Este diseño se caracteriza por poseer dos grados de libertad, por poseer un engranaje diferencial el cual tolera que el efector tenga revoluciones variadas [11].

En 2022 se desarrolló la optimización de un efector final el cual logró sujetar 1000 g de peso teniendo una carrera de mordaza de cincuenta y nueve milímetros con un peso del prototipo de 240 g de peso aproximadamente, esto se da gracias a realizar las simulaciones en un software CAD cumpliendo el objetivo principal [12].

En 2025 se validó un agarre robótico de dos dedos para la manipulación de desechos livianos. Para garantizar el agarre del objeto el efector adapta una forma en V de esta manera aumenta el área de contacto con el objeto logrando agarrar objetos de hasta 60 g. El diseño se lo realizó mediante impresión 3D con un material denominado PLA [13].

Por último, en 2025 se implementó un tipo de mano derecha, robusta y de bajo costo llamada ISyHand, esta es una palma articulada a la cual se le agrega más eslabones modificando el modelo fácilmente. De esta manera, se garantiza una destreza alta para el agarre de objetos varios [14].

## 2.2 Bases Teóricas

### 2.2.1 Polímero PLA

El PLA es un material que ha ido implementándose en más campos laborales por sus propiedades y características. Este es un bio polímero termoplástico aplicado en industrias de alimento, en el campo medicinal, en industrias agrícolas, en el ámbito académico y como no en el campo de ingeniería siendo la impresión 3D el principal desarrollo para su aplicación [15].

### 2.2.2 Impresión 3D

La impresión 3D es un método el cual consiste en un diseño de objetos sólidos en tercera dimensión a partir de un diseño digital el cual se lo realiza en diferentes tipos de Software instalados en un computador. Este proceso se realiza gracias a la lectura del modelo o diseño mediante una máquina la cual coloca capas de material sucesivamente entregándonos así el objeto final.

Dentro de la impresión 3D existen varios métodos tales como la deposición por extrusión o FDM la que se desarrolló en 1980 y la cual se menciona que el filamento plástico está almacenado en un rollo que se va desenrollando mediante el extrusor solicita más material para abastecer las capas del diseño final [16].

### 2.2.3 Tipos de efectores finales

#### 2.2.3.1 Efector final de dos dedos.

Un efector final de dos dedos es más conocido como un efector tipo pinza o garra, el desarrollo de este se lo ha realizado gracias a que son fáciles de usar, su ampliación a gran escala es muy rentable y estos poseen varias aplicaciones como agarrar, recoger, colocar, trasladar objetos varios en líneas de ensamblaje de productos en general.

#### 2.2.3.2 Efector final de 3 dedos.

Un efector final de tres dedos es la combinación de un efector final de dos dedos más un dedo adicional, este diseño tiene una mayor complejidad en su uso, en su diseño, y los costos de expansión son más elevados. Pero debido a la necesidad de pinzas con una mejor precisión, un control de agarre más robusto a la hora de manipular objetos con geometría compleja o cortantes este tipo de efector final es perfecto.

#### 2.2.3.3 Efector final con dedos flexibles.

Los efectores finales con dedos flexibles se han desarrollado para manipular objetos mucho más frágiles ya que, estos aplican diferentes fuerzas y varian su torque logrando trasladar, agarrar y apilar objetos más delicados.

#### 2.2.3.4 Efector final de bolas flexibles rellenas de grano.

Este diseño de efector final se basa en la forma de cazar de un camaleón, esto destaca la capacidad de adaptabilidad del efector final para agarrar varios objetos a la vez y de diferentes pesos o formas. Este consiste en un globo el cual está relleno de una especia de granos o bolas los cuales se adaptan a los objetos.

#### 2.2.3.5 Efector final de fuelle

Un efector final de fuelle tiene el objetivo de sostener objetos con superficie cilíndrica plana al cual este se adapta perfectamente ya que, mediante aire comprimido la pieza se extiende, succiona la superficie del objeto y como consecuencia provoca el agarre del objeto [17].

Se tomó en cuenta algunas comparaciones detalladas en la Tabla 1 para la selección y diseño del efector final.

**Tabla 1**. Comparación de características de efectores finales

| Tipo de efector | Mecanismo de agarre | Aplicaciones |
|---|---|---|
| Dos dedos | Dos articulaciones paralelas | Agarre de objetos planos |
| Tres dedos | Tres articulaciones de contacto | Manipulación de piezas de soldadura |
| Dedos flexibles | Dos o más articulaciones elastómeras | Traslado de objetos frágiles |
| Bolas flexibles de grano | Articulación con material tipo grano | Sujeción de objetos cortantes |
| Fuelle | Articulación neumática | Recolección de botellas |

### 2.2.4 Servomotores

Los servomotores son un conjunto de propiedades tales como un sistema de retroalimentación más conocido como enconder, este le indica al controlador del servomotor la posición en la que se encuentra, de tal manera que si se encuentra en una posición no deseada este tiene la capacidad de ajustarse a la posición correcta con una precisión alta. Por otro lado, otra característica que posee es la capacidad de mantener un torque especifico de manera constante sin necesidad de componentes electrónicos externos y depende del modelo giran de 0° a 90° o de 0° a 180° [18].

### 2.2.5 Microcontroladores

En 2005 se creó Arduino en el instituto de IVRAE, este es una placa el cual se compone principalmente de un microcontrolador con un hardware libre, es esencial en la parte académica por su bajo costo, facilidad de implementación ya que, posee características como pines digitales

y pines analógicos, controla servomotores con su interfaz y ayuda de softwares ajenos al de originario de Arduino [19].

Se considera el uso de un microcontrolador ESP32 ya que, este posee un bajo costo de adquisición y un alto rendimiento, destacando ciertas capacidades como lo es el procesamiento rápido, una mejor conectividad estándar e inalámbrica y con un consumo bajo de energía. Esto lo convertía en la opción óptima pero la desventaja es que tenía una complejidad a la hora de conectarse con el software de simulación utilizado [20].

### 2.2.6 Control PID

Un control PID es un controlador que responde a sus siglas como un control proporcional, integral y derivativo.

La acción de control proporcional indica que se genera una actuación de control correctivo proporcional al error, este también es denominado Kp.

La acción de control integral indica que en esta se genera una corrección proporcional a la integral del error lo que garantiza que, al aplicar un esfuerzo de control suficiente, el error de seguimiento se reduce completamente a cero, este también es denominado como Ki.

La acción de control derivativa indica que se genera una acción de control proporcional a la variación del rango de error, actuando de forma estabilizante generando una actuación de control grande, este también es denominado Kd [21].

# CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO

## 3.1 Enfoque y tipos de investigación

En el presente se expone las actividades desarrolladas para la ejecución correcta del proyecto, se emplea una investigación aplicada y tecnológica con la finalidad de resolver la manipulación de objetos cilíndricos por medio del diseño, prototipado y construcción de este. Este adopta un enfoque cuantitativo ya que, se emplea la recolección y análisis de datos para el control de fuerza de agarre y el posicionamiento de las articulaciones del efector final. De esta manera, se busca ofrecer un efector final práctico y de bajo costo.

## 3.2 Diseño de la Investigación

Mediante el trabajo realizado se toma en cuenta la innovación, desarrollo tecnológico y socioeconómico. Garantizando la exposición y avance del proyecto.

### 3.2.1. Fase 1: Revisión e investigación

**Actividad 1: Investigación del estado del arte sobre efectores finales.**

Se realizó la investigación de artículos científicos y tesis publicadas previamente relacionadas con efectores finales, su funcionamiento y control PID.

**Actividad 2: Investigación sobre métodos de agarre de efectores finales tipo pinza.**

Se investigó métodos efectivos de agarre dentro del mercado y se selecciona los documentos con alto valor e información útil. Se revisó exhaustivamente cada uno de estos, recalcando y destacando conceptos esenciales para el agarre de efectores finales tipo pinza.

**Actividad 3: Comparación con diseños existentes y soluciones implementadas en la industria.**

Se comparó diseños de entre 2016 y 2026, haciendo énfasis en la estética y garantizando la funcionalidad.

**Actividad 4: Identificación de las mejores prácticas y tendencias emergentes en el diseño de efectores finales.**

Se identificó los diseños que cumplen con las características funcionales y dan soluciones reales a problemas en la industria robótica.

**Actividad 5: Comprensión de la aplicación del diseño.**

Se analizó el comportamiento y funcionamiento tanto del diseño mecánico como del control de fuerza de agarre en un entorno real.

### 3.2.2. Fase 2: Diseño del sistema mecánico y electrónico del efector final.

**Actividad 1: Planteamiento de propuesta de diseño**

Se planteó 1 boceto como propuesta tomando en cuenta dimensiones y adecuaciones para el agarre de objetos cilíndricos.

**Actividad 2: Selección de materiales**

Se comparó materiales propuestos y se seleccionó el material que cumpla la mayoría de las especificaciones requeridas.

**Actividad 3: Diseño CAD del prototipo**

Se determinó los elementos de sujeción tipo pernos, resortes y pasadores para su diseño en un software CAD y su ensamble.

**Actividad 4: Diseño del sistema electrónico**

Se seleccionó componentes electrónicos como servomotores, cables de conexión y microcontroladores basándonos en condiciones iniciales.

### 3.2.3. Fase 6: Construcción del prototipo propuesto

**Actividad 1: Construcción de la estructura del dispositivo**

Se imprimió en 3D y se ensambló las partes de diseño realizado en software CAD tomando

en cuenta tolerancias y perforaciones.

**Actividad 2: Integración de elementos mecánicos y electrónicos**

Se ensamblaron los elementos electrónicos en la estructura mecánica tomando en cuenta la ubicación de pernos de sujeción, pasadores de revolución y resortes de tracción.

**Actividad 3: Programación de la fuerza de agarre**

Se realizó la configuración de parámetros, condiciones iniciales y limitantes de movimiento para el control de fuerza de agarre.

### 3.2.4. Fase 7: Validación del funcionamiento del efector final

**Actividad 1: Realización de pruebas de funcionamiento**

Se comprobó mediante pruebas el funcionamiento entre los componentes electrónicos y la estructura mecánica.

**Actividad 2: Recalibración y/o corrección de posibles errores de movimiento y agarre.**

Se modificó los parámetros y condiciones establecidas para optimizar el correcto agarre y posición del efector final.

**Actividad 3: Elaboración del documento escritor**

Se redactó el documento final exponiendo toda la información necesaria para realizar simulaciones virtuales y reales del efector final tipo pinza para la manipulación de objetos cilíndricos.

# CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y ANÁLISIS

Este capítulo muestra el desarrollo del efector final tipo pinza para la manipulación de objetos cilíndricos. Se analiza procesos de impresión 3D, procesos de diseño en software CAD, procesos de ensamblaje. Se seleccionan materiales, y elementos de sujeción como pernos, pasadores y resortes.

## 4.1 Planteamiento de propuestas de soluciones.

Después de revisar documentos acerca de control de efectores finales tipo pinza e identificar la problemática de agarre de objetos en el campo operativo. Se proponen 2 bocetos de diseño tomando en cuenta los parámetros de diseño, dimensiones del efector final y costo.

## 4.2 Propuestas de diseño

En esta propuesta, se muestra un efector final el cual consta de 6 articulaciones, adaptadores para el ensamble y estructura impresa en 3D como se observa en la Fig.1. Se ensamblan simétricamente con pasadores y pernos de sujeción. Se utiliza resortes y nylon para replicar el movimiento de abrir y cerrar. Esta se controla mediante servomotores.

Estos se conectan a un microcontrolador tipo Arduino, se programa el movimiento y posición mediante un diagrama de bloques en una interfaz virtual. Asegurando el agarre de objetos cilíndricos.

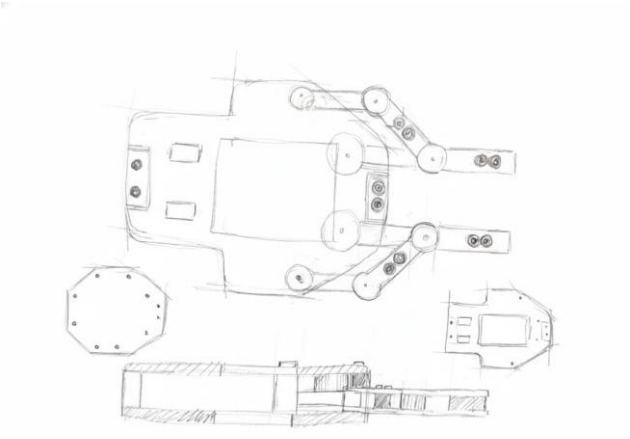


**Fig. 1.** Boceto 1 de la propuesta de diseño tipo pinza de 2 dedos.

En la segunda propuesta, se muestra un efector final que consta de 2 articulaciones las cuales giran mediante un sistema de engranajes como se observa en la Fig.2. Se ensamblan con una base realizada con impresión 3D. Estos se conectan a 2 motores DC que se controlan mediante un microcontrolador tipo ESP-32. Se alimentan con un cable de entrada tipo A y salida tipo USB. Las conexiones se realizan con cables de varios hilos conductores.

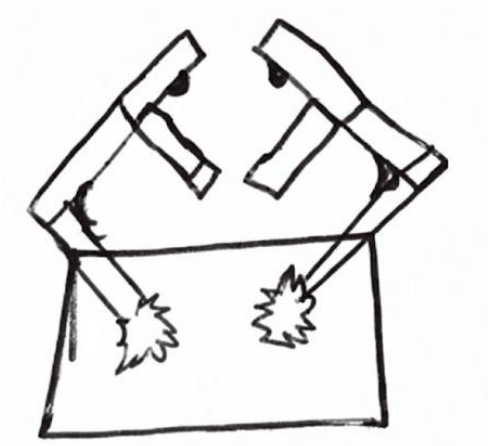


**Fig. 2.** Boceto 2 de la propuesta diseño tipo pinza de 2 dedos.

### 4.3 Análisis de criterios

Se analizan los criterios que se observan en la Tabla 2 de cada propuesta de diseño y se selecciona la que cumple con la superioridad de criterio. Siendo 1 deficiente y 5 óptimo.

**Tabla 2. Comparación de criterios de diseño.**

| Características | Propuesta 1 | Propuesta 2 |
|---|---|---|
| Material | 5 | 5 |
| Repetibilidad | 5 | 4 |
| Impresión 3D | 5 | 4 |
| Estandarización | 4 | 1 |
| Ensamblaje | 5 | 5 |
| Tiempo de ejecución | 3 | 2 |
| Mantenimiento | 5 | 5 |
| TOTAL | 32 | 26 |

Se selecciona la propuesta 1 de diseño por una superioridad de 32 puntos equivalentes a un 91.43% ante 26 puntos equivalente a un 74.29% de eficiencia.

### 4.4 Cálculo de fuerza de agarre

Se realizan cálculos de variables necesarias para la fuerza del efector final. Estos se realizan especificando la unidad de medida y su simbología como se muestra en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Variables para el cálculo de la fuerza de agarre.

| Características | Símbolo | Valor |
|---|---|---|
| Coeficiente de rozamiento PLA | u | 0.5 |
| Aceleración (m/s^2) | a | 1 |
| Gravedad (m/s^2) | G | 9.8 |
| Masa (kg) | M | 0.4 |
| Inercia (N) | Fi | Por calcular |
| Peso (N) | W | Por calcular |
| Distancia del eslabón (cm) | R | 5 |
| Fuerza del efector final (N) | Fef | Por calcular |
| Torque (Nm) | T | Por calcular |
| Distancia entre pivotes (cm) | C | 4 |
| Ángulo mínimo (grados) | Ø1 | 0 |
| Ángulo máximo (grados) | Ø2 | 90 |
| Apertura mínima (cm) | Amáx | Por calcular |
| Apertura máxima (cm | Amín | Por calcular |
| Elongación (mm) | x | Por calcular |
| Constante elástica (N/m) | k | Por calcular |
| Longitud inicial (mm) | Lo | 20 |
| Longitud final (mm) | L | 26.5 |

Se calcula el peso W que el efector final va a agarrar.

$$W = m * g$$

$$W = 0.35\ kg * 9.8\frac{m}{s^2}$$

$$W = 3.43N$$

Posteriormente se calcula la fuerza de inercia Fi.

$$Fi = m * a$$

$$Fi = 0.35\ kg * 1\frac{m}{s^2}$$

$$\mathrm{Fi} = 0.35\ \mathrm{N}$$

Ahora, se calcula la fuerza del efector final.

$$\mathrm{Fef} = \frac{\mathrm{W} + \mathrm{Fi}}{2(\mathrm{u})}$$

$$\mathrm{Fef} = \frac{3.43\mathrm{N} + 0.35\mathrm{N}}{2(0.5)}$$

$$\mathrm{Fef} = 3.78\mathrm{N}$$

Se calcula el torque requerido

$$\mathrm{T} = 3.78\mathrm{N} * 0.05\mathrm{m}$$

$$\mathrm{T} = 0.18\ \mathrm{Nm}$$

Se representa el torque en términos de kg*cm.

$$\mathrm{T} = 0.18\ \mathrm{Nm} * 10.20$$

$$\mathrm{T} = 1.83\ \mathrm{kgcm}$$

Se calcula la elongación “x” del resorte.

$$\mathrm{x} = \mathrm{L1} - \mathrm{Lo}$$

$$\mathrm{x} = 26.5\mathrm{mm} - 20\mathrm{mm}$$

$$\mathrm{x} = 6.5\mathrm{mm}$$

Se calcula la constante de elasticidad “k” del resorte.

$$\mathrm{k} = \frac{\mathrm{Fef}}{\mathrm{x}}$$

$$\mathrm{k} = \frac{3.78\mathrm{N}}{0.0065\mathrm{m}}$$

$$\mathrm{k} = 581.53\ \mathrm{N/m}$$

Se calcula la abertura máxima.

$$\mathrm{Amax} = 2 * \mathrm{L} * \mathrm{sen}(\emptyset\mathrm{max}) + \mathrm{C}$$

$$\mathrm{Amax} = 2 * 5\mathrm{cm} * \mathrm{sen}(90°) + 4\mathrm{cm}$$

$$Amax = 14cm\ aprox\ ; Real = 12.47cm$$

Se calcula la abertura mínima.

$$Amin = 2 * L * sen(Ømin) + C$$

$$Amin = 2 * 5cm * sen(0°) + 4cm$$

$$Amin = 4cm\ aprox\ ;\ Real = 2.5cm$$

### 4.5 Diseño CAD del efector final

Se diseña en un software CAD la propuesta de diseño que se observa en la Fig.3, tomando en cuenta los elementos adicionales para el ensamble y cálculos de fuerza mínima para garantizar el agarre.



**Fig. 3.** Diseño CAD de la pinza con sus elementos como eslabones, resortes, sensores, y servomotores.

Se hace un análisis de las características detalladas en la Tabla 4 que ofrece el PLA, con el fin de garantizar la seguridad, resistencia y durabilidad.

**Tabla 4**. Características del PLA

| **Características** | |
|---|---|
| Sostenibilidad | Biodegradable |
| Resistencia a tracción | 45 – 70 MPa |
| Impresión 3D | 100% Rediseño |
| Punto de fusión (°C) | 170 – 180 |

Se selecciona el ácido poliláctico (PLA) como el material para la estructura mecánica del efector final basado en el criterio de manufacturabilidad y estabilidad dimensional. Este se sustenta en la baja tasa de contracción térmica del material, así, se garantiza que las tolerancias de diseño de perforaciones, espesores y longitudes se mantengan precisas después de la impresión 3D. Por

otro lado, su alta rigidez soporta las fuerzas de reacción del agarre de objetos.

### 4.5.1 Pernos de sujeción

Para el ensamble y sujeción de la estructura del efector final se muestra pernos M3x0.7x20 que se observan en la Fig.4, con características especificadas en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Características del perno de sujeción.

| Características | Símbolo | Valor |
|---|---|---|
| Acero inoxidable | AISI | 304 |
| Tipo de perno | M3 | Avellanado – cara plana |
| Diámetro (mm) | D | 8 |
| Paso de la rosca (mm | Z | 0.7 |
| Grosor de la cabeza(mm) | H | 2.3 |
| Diámetro nominal (mm) | D1 | 4 |
| Profundidad encaje (mm) | P | 1.6 |
| Medida entre caras hexágono (mm) | A | 2.5 |

Se seleccionan los pernos M3x0.7 avellanados basados en el criterio de integridad estructural y mantenimiento. Esta responde a la capacidad de proporcionar una precarga de sujeción de 3.10kN constante, evitando desajustes por el exceso de vibración por parte de los servomotores. También, la cabeza avellanada responde a la estética del efector y a la facilidad de reemplazo o mantenimiento de estos.



**Fig. 4.** Perno Avellanado M4x07x30.

### 4.5.2 Pasadores cilíndricos

Para la unión de las articulaciones se proponen pasadores cilíndricos con cabeza tipo hongo

como se muestra en la Fig.5. Sus características se muestran en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Características del pasador cilíndrico

| Características | Símbolo | Valor |
|---|---|---|
| Aluminio | Al | 1100 |
| Diámetro del alambre (mm) | d | 3 |
| Diámetro de cabeza (mm) | D | 4 |
| Longitud (mm) | L | 30 |



**Fig. 5.** Pasadores cilíndricos con cabeza tipo hongo.

Se seleccionan pasadores cilíndricos con cabeza tipo hongo basado en el criterio de reducción de peso. Este responde a que al ser de aluminio y no de otro material el peso total del efector disminuya. Por otro lado, la inercia baja y aumenta la respuesta dinámica del efector.

### 4.5.3 Resortes a tracción

Para el movimiento de las articulaciones que conectan los servomotores con los resortes a tracción con ganchos tipo C como se muestra en la Fig.6, por la tensión que se necesita aplicar constantemente. Sus características se muestran en la Tabla 7.

**Tabla 7.** Características del resorte.

| Características | Símbolo | Valor |
|---|---|---|
| Acero al carbono | AISI | 1018 |
| Diámetro del alambre (mm) | d | 0.1 |
| Diámetro exterior (mm) | De | 13 |
| Longitud (mm) | L | 20 |

Se selecciona los resortes a tracción bajo el criterio de transmisión de tensión lineal. Estos actúan como protección para las articulaciones, sensores y servomotores.



**Fig. 6.** Resortes experimentales a tracción de 20mm.

### 4.5.4 Nylon

Para la unión y transmisión de fuerza entre servomotores, resortes de tracción y articulaciones principales se propone nylon, por sus características y propiedades que se especifican en la Tabla 8.

**Tabla 8.** Características del nylon.

| Características | |
|---|---|
| Resistencia a la tracción (MPa) | 400 – 700 |
| Elasticidad (%) | 90 |
| Elongación (%) | 15 - 35 |
| Absorción de agua (%) | 3 – 9 |
| Punto de fusión (°C) | 220 |

Se selecciona el nylon bajo el criterio de cumplimiento mecánico. Este responde por la baja elongación al aplicar una carga x. Se garantiza la transferencia de torque directo sin perdida.

## 4.6 Sistema electrónico

En el diseño del sistema electrónico se realiza la selección de componentes como servomotores, sensores de posición, cables de conexión y microcontrolador.

### 4.6.1 Servomotor

Se propuso un servomotor MG90S el cual tiene el sistema de engranajes de metal como se observa en la Fig. 7. Después de analizar la funcionalidad de servomotores teniendo como objetivo el abrir y cerrar de 0° a 180° las articulaciones de diseño, se plantea que el servomotor debe cumplir con las características de la Tabla 9.

**Tabla 9.** Parámetros planteados para servomotor.

| Características | |
|---|---|
| Peso (g) | 13.4 |
| Dimensiones (mm) | 22.5 x 12 x 35.5 |
| Torque (kg*cm) | 1.8 |
| Velocidad de operación (s) | 0.1 |
| Voltaje de operación (V) | 4.8 |

De esta manera, se selecciona el servomotor MG90S bajo el criterio de fuerza de torque y resistencia mecánica. Este responde mediante un sistema de engranajes metálicos, siendo el límite de fluencia superior en comparación con otros sistemas de engranajes de polímero. Así, se asegura el torque mínimo y máximo de acuerdo con el voltaje de entrada.




**Fig. 7.** Servomotor MG90S y sus adaptadores de engrane.

### 4.6.2 Cables de conexión

Para las conexiones electrónicas entre servomotores, sensores de posición y conexión hacia el microcontrolador se proponen cables de un solo hilo conductor. Sus características se especifican en la Tabla 10.

**Tabla 10.** Características de cable de un solo hilo conductor.

| Características | |
|---|---|
| Conductor sólido | Un solo hilo |
| Robustez | Rígido |
| Código de colores | Aislados |
| Facilidad de conexión | Cobre |

Se selecciona cables de un solo hilo conductor bajo el criterio de conductividad eléctrica. Esta responde a la baja resistencia del cobre. Minimiza la caída de tensión y evita la perdida de voltaje

en la alimentación de los servomotores. Por otro lado, previene la ruptura en los puntos de soldadura por movimientos continuos y traslados del efector.

### 4.6.3 Microcontrolador

Se propone un microcontrolador tipo Arduino MEGA 2560 que se observa en la Fig.8. Al poseer entradas analógicas y una capacidad alta de procesamiento del algoritmo se ajusta a las necesidades del control de fuerza de agarre para objetos cilíndricos. Sus características se especifican en la Tabla 11.

**Tabla 11.** Características del microcontrolador Arduino mega 2560.

| Características principales | |
|---|---|
| Microcontrolador | ATmega2560 |
| Voltaje de operación (V) | 5 |
| Voltaje de alimentación (V) | 7 - 12 |
| Salidas PWM | 15 |
| Pines analógicos | 16 |
| Peso (g) | 37 |



**Fig. 8.** Microcontrolador Arduino Mega 2560 con su cable de conexión.

Se selecciona el microcontrolador bajo el criterio de capacidad de procesamiento. Este responde al tener entradas analógicas para la lectura simultánea y precisa de varios sensores. Por otro lado, al disponer de pines PWM, es efectivo en la implementación de un algoritmo como P, PI y PID en simulaciones y en tiempo real.

### 4.6.4 Sensor de posición

Para determinar la posición de las articulaciones en la apertura y cierre, se propone 2 sensores BK10-h3 tipo potenciómetro que se observan en la Fig.9, los cuales retroalimentan analógicamente

al microcontrolador y mediante el diagrama de bloques se envía una señal al PI, este elimina el error en tiempo real y la posición de la pinza se mantiene en el valor de referencia establecido. Sus características se especifican en la Tabla 12.

**Tabla 12.** Características del sensor BK10-h3.

| **Características principales** | |
|---|---|
| Resistencia nominal (**kΩ**) | ATmega2560 |
| Tipo de ajuste | Giratorio, lineal (tipo B) |
| Función | Detección de posición |
| Estructura | 1 enlace |
| Alimentación (V) | 5 |




**Fig. 9.** Sensor de posición BK10-h3.

Se selecciona el sensor de posición bajo el criterio retroalimentación de lazo cerrado y linealidad. Este responde a la transformación del desplazamiento mecánico en una señal de voltaje. De esta manera, el efector final adquiere la capacidad de detectar la posición inicial del objeto cilíndrico antes de aplicar la fuerza final de agarre.

## 4.7 Construcción del prototipo

Todos los elementos del efector final se modelan en 3D y se presentan en la Fig.10 para su visualización e impresión.

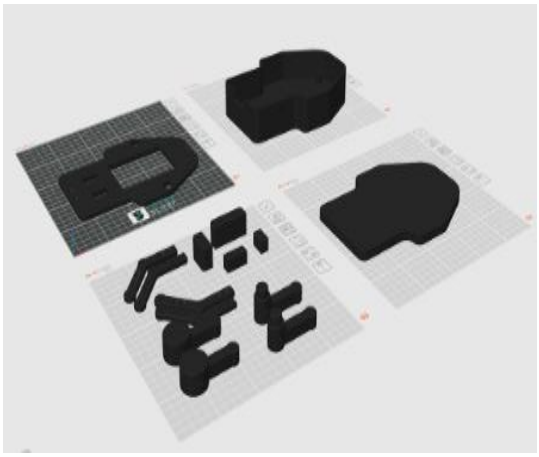


**Fig. 10.** Estructura en espacio virtual para su impresión en 3D.

Después de realizar el diseño en un software CAD, se imprime en 3D todos los componentes de la estructura tales como la base, tapa, articulaciones principales y secundarias que se observan en la Fig.11. Este proceso de impresión tiene la finalidad de establecer un modelo físico para su implementación.



**Fig. 11.** Estructura impresa en 3D.

En la Fig.12. se observa el diseño completo con todos los componentes mecánicos y electrónicos ensamblados tomando en cuenta dimensiones, medidas y tolerancias. De esta manera, se garantiza la viabilidad de diseño y se evita gastos de material innecesarios.



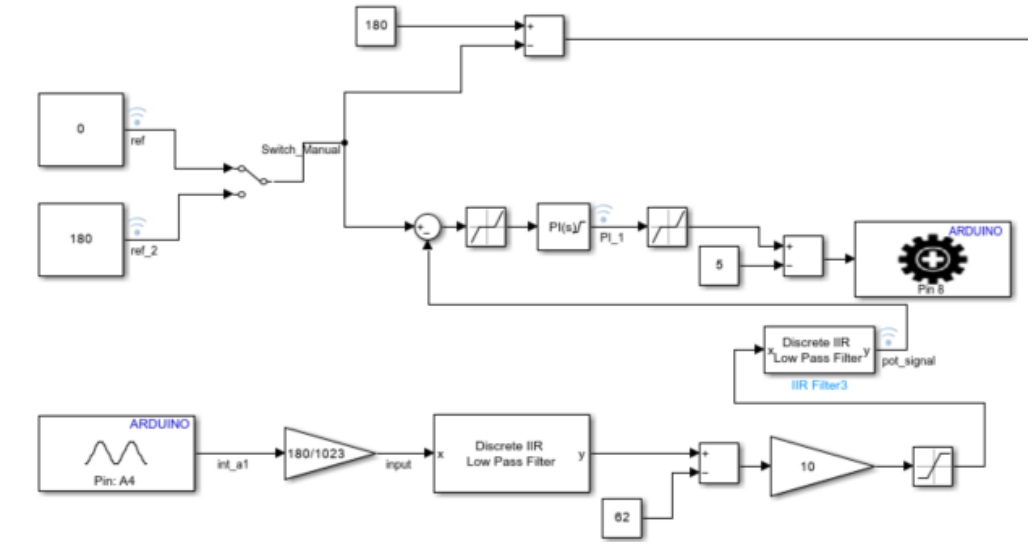
**Fig. 12.** Efector final en fase de implementación de estructura mecánica y electrónica.



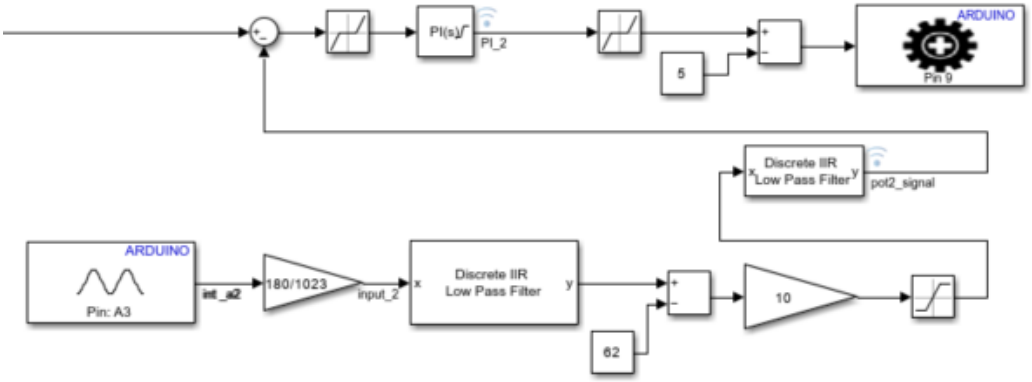
**Fig. 13.** Efector final tipo pinza con control de fuerza de agarre para manipulación de objetos cilíndricos.

## 4.8 Programación del sistema de control PI

En la programación de fuerza de agarre se realiza un diagrama de bloques en un software con interfaz virtual. Se simula, valida y genera código a partir del programa para hardware. Se aplica un controlador PI asegurando un control de servomotores. Se aplica filtros de linealización a los sensores con el fin de disminuir interferencias y ruidos, como se observa en la Fig.14.




a)




*b)*

**Fig. 14.** Programación del sistema de control para los dos dedos de la pinza. a) Pinza derecha equivalente a la articulación 1. b) Pinza izquierda equivalente a la articulación 2.

### 4.8.1 Diagrama de flujo – sistema de control PI

Se propone el diagrama de flujo del sistema de control PI como se observa en la Fig. 15, especificando las configuraciones de cada bloque, las operaciones realizadas para escalar la señal y el tipo de filtro para estabilizar la señal.

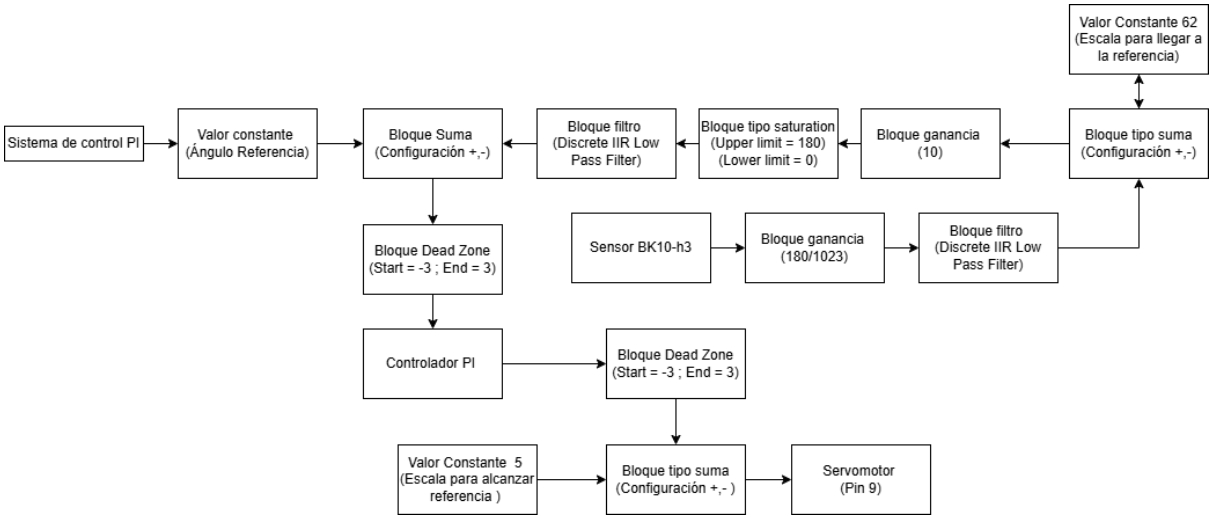



**Fig. 15.** Diagrama de flujo para la programación del sistema de control PI.

### 4.8.2 Diagrama de conexiones electrónicas

Se establece las conexiones electrónicas entre los sensores tipo BK10-h3, los servomotores MG90S, su alimentación de 5V y su conexión a tierra GND como se observa en la Fig.16.

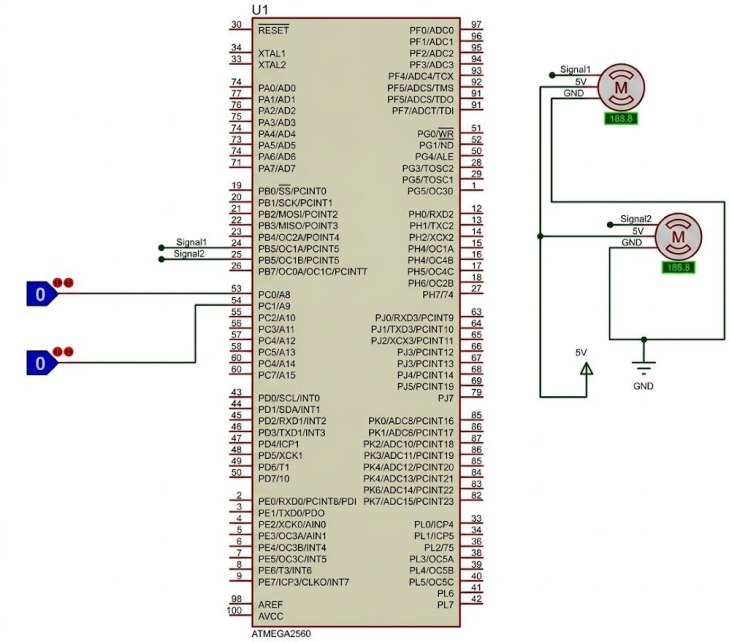



**Fig. 16.** Diagrama de conexiones entre servomotores, sensores y microcontrolador.

## 4.9 Desarrollo experimental

En esta sección se presentan los cálculos, simulaciones, pruebas y validación del efector final tipo pinza de dos dedos con control de fuerza de agarre para manipulación de objetos cilíndricos. El propósito de estas es confirmar que el diseño mecánico y electrónico planteado funciona correctamente, que las articulaciones se abren, se cierran simétricamente y agarran el objeto cilíndrico.

### 4.9.1 Cálculos de planta del efector final

Se calcula la velocidad en radianes teniendo como datos la velocidad v = 0.1s/60° y voltaje V = 4.8V que se obtienen de anexo 1.

$$\mathbf{60°} = \frac{\boldsymbol{pi}}{\mathbf{3}} = \mathbf{1.047}\ \boldsymbol{rad}$$

Se calcula la velocidad angular, donde el ángulo (θ) está dado en radianes y la velocidad (v) en segundos.

$$\boldsymbol{w} = \frac{\boldsymbol{\theta}}{\boldsymbol{v}}$$

$$\boldsymbol{w} = \frac{\mathbf{1.047}\boldsymbol{rad}}{\mathbf{0.1}\boldsymbol{s}}$$

$$\boldsymbol{w} = \mathbf{10.47}\frac{\boldsymbol{rad}}{\boldsymbol{s}}$$

Se calcula la constante K equivalente a la ganancia de la planta, donde la velocidad angular (W) está dada en rad/s y el voltaje (V) está dado en voltios.

$$\boldsymbol{K} = \frac{\boldsymbol{w}}{\boldsymbol{V}}$$

$$K = \frac{10.47 \frac{rad}{s}}{4.8V}$$

$$K = 2.18$$

Posteriormente se calcula la constante de tiempo (τ), donde el tiempo nominal (tnom) viene dado en segundos y el factor de proporcionalidad (λ) se asume.

$$\tau = tnom \text{ x } \lambda$$

$$\tau = 0.1s \text{ x } 0.2$$

$$\tau = 0.02s$$

Se calcula la función de transferencia de segundo orden, donde se reemplazan los valores obtenidos previamente.

$$G(s) = \frac{K}{s(\tau s + 1)}$$

$$G(s) = \frac{2.18}{s(0.02s + 1)}$$

$$G(s) = \frac{2.18}{0.02s^2 + s}$$

Se establece la ecuación de controlador.

$$C(s) = \frac{Kps + Ki}{s}$$

Se plantea la ecuación del comportamiento deseado de segundo orden.

$$s^2 + 2 * C * Wn * s + Wn^2 = 0$$

Donde: C = Amortiguamiento y Wn = frecuencia natural; Estos valores se proponen bajo el criterio de movimiento de pinza.

Posteriormente, se plantea la ecuación característica real.

$$\mathbf{0.02}\boldsymbol{s}^{\mathbf{2}} + (\mathbf{1} + \mathbf{2.18}\boldsymbol{Kp})\boldsymbol{s} + \mathbf{2.18}\boldsymbol{Ki} = \mathbf{0}$$

$$\boldsymbol{s}^{\mathbf{2}} + \frac{(\mathbf{1} + \mathbf{2.18}\boldsymbol{Kp})}{\mathbf{0.02}}\boldsymbol{s} + \frac{\mathbf{2.18}\boldsymbol{Ki}}{\mathbf{0.02}} = \mathbf{0}$$

Se calcula la ganancia Kp.

$$\mathbf{2}\boldsymbol{C} * \boldsymbol{Wn} = \frac{(\mathbf{1} + \mathbf{2.18}\boldsymbol{Kp})}{\mathbf{0.02}}$$

$$\mathbf{2}(\mathbf{1})(\mathbf{23.3}) = \frac{(\mathbf{1} + \mathbf{2.18}\boldsymbol{Kp})}{\mathbf{0.02}}$$

$$\boldsymbol{Kp} = \mathbf{20}$$

Se calcula la ganancia Ki.

$$\boldsymbol{Wn}^{\mathbf{2}} = \frac{\mathbf{2.18}\boldsymbol{Ki}}{\mathbf{0.02}}$$

$$(\mathbf{23.3})^{\mathbf{2}} = \frac{\mathbf{2.18}\boldsymbol{Ki}}{\mathbf{0.02}}$$

$$\boldsymbol{Ki} = \mathbf{5}$$

Se reemplaza los valores de Kp y Ki en la ecuación característica real.

$$\boldsymbol{s}^{\mathbf{2}} + \frac{(\mathbf{1} + \mathbf{2.18}(\mathbf{20}))}{\mathbf{0.02}}\boldsymbol{s} + \frac{\mathbf{2.18}(\mathbf{5})}{\mathbf{0.02}} = \mathbf{0}$$

Se obtiene una ecuación característica real de segundo orden. Se considera una ecuación típica de un controlador PI. 2230s nos indica el amortiguamiento y la rapidez que el sistema reduce el error. 545 es el valor que garantiza que el error de posición sea 0.

$$s^2 + 2230s + 545 = 0$$

### 4.9.2 Planta a controlar

Se implementa en un software la planta a controlar con un lazo de control cerrado como se observa en la Fig.17. De esta manera se confirma teóricamente el valor de las constantes de Kp y Ki.

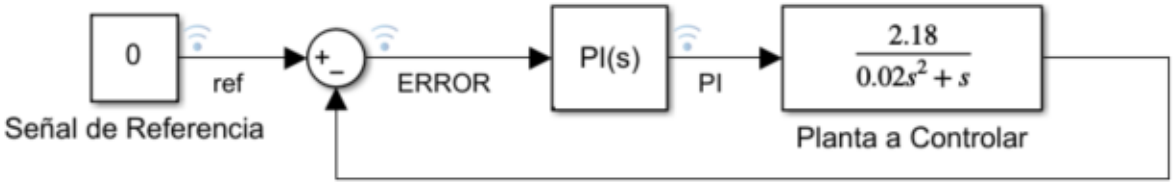



**Fig.17.** Diagrama de planta a controlar.

Se ingresa una señal tipo step con una referencia de 90° como se observa en la Fig. 18, para obtener la señal de salida y comportamiento de la planta.

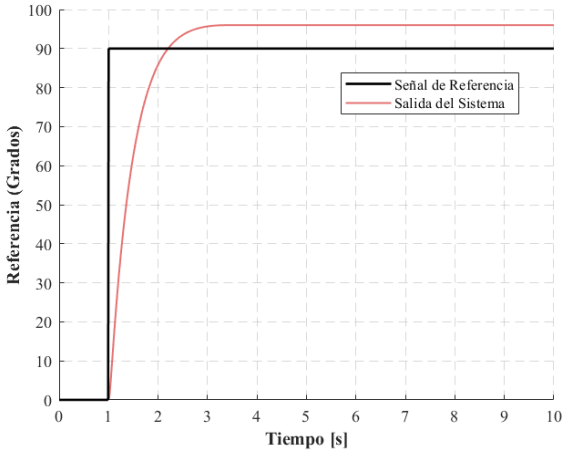



**Fig.18.** Respuesta de la panta ante una señal tipo step.

Se ingresa una señal tipo ramp con una referencia de 90° como se observa en la Fig. 19, para obtener la señal de salida y comportamiento de la planta.

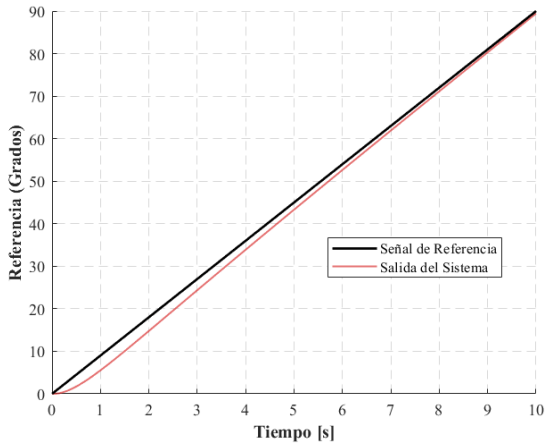



**Fig.19.** Respuesta de la planta ante una señal tipo ramp.

### 4.9.3 Esquema de control PI para la articulación 1

A partir del diseño mecánico realizado en un software CAD se exportó hacia una interfaz de simulación utilizando librerías y herramientas de ingeniería. De esta manera, se muestra en la interfaz las relaciones de posición tales como revolución, cilíndrica y superficie rígida como se observa en la Fig.20.

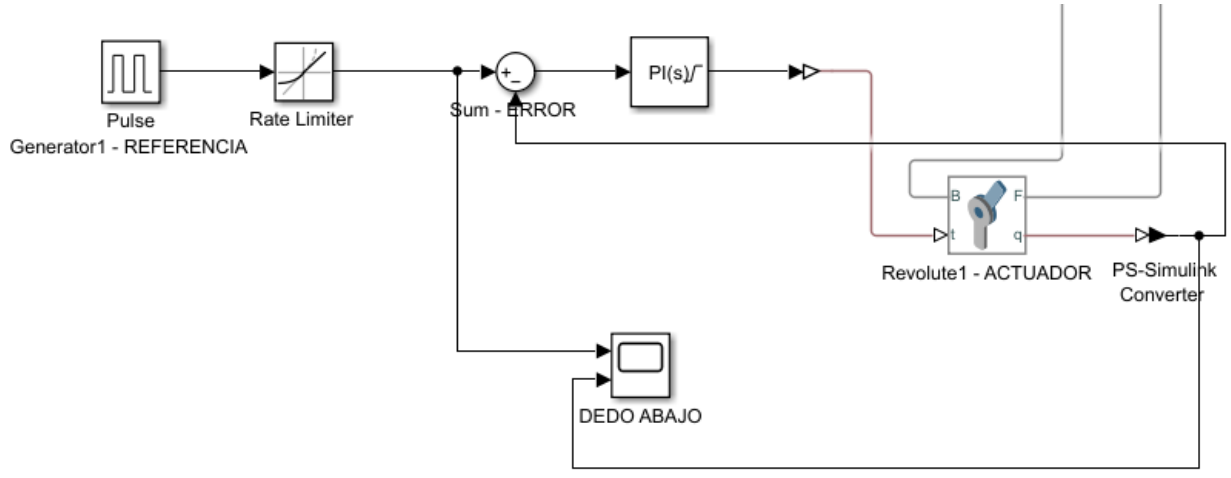



**Fig. 20.** Diagrama de bloques del esquema de control de la articulación 1.

Para alcanzar la simulación, se inserta un bloque de referencia en el cual se ajusta un rango de movimiento, lo que hace que los dedos del efector final lleguen desde 90°, hasta -90°, para evitar que este movimiento no sea brusco se coloca un bloque limitador de velocidad para suavizar el movimiento.

Adicionalmente, se coloca un operador matemático configurando una entra positiva y otra negativa en el orden descrito. Este calcula el error existente en la posición

Por otro lado, se coloca un controlador PI en el servomotor de los dedos para que la pinza se abra y se cierre cumpliendo con la función de agarrar objetos cilíndricos.

Todos estos componentes se conectan hacia el bloque indicador de la relación de posición revolución mediante conexiones estándar y utilizando convertidores como ps – converter.

Adicionalmente, se configura en el bloque de relación de posición la entrada de posición y salida de posición en este caso “t” y “q” respectivamente.

Finalmente, se agrega un bloque de visualización de la trayectoria de la onda (scope) en el que se observa el comportamiento de las señales para analizar si cumplen las condiciones establecidas.

### 4.9.4 Esquema de control PI para la articulación 2

Se replica el mismo procedimiento para la segunda articulación, teniendo en cuenta que esta tiene un sentido de giro contrario al anterior. Se agrega un bloque llamado ganancia, este se encarga de invertir el sentido de giro como se observa en la Fig.21.

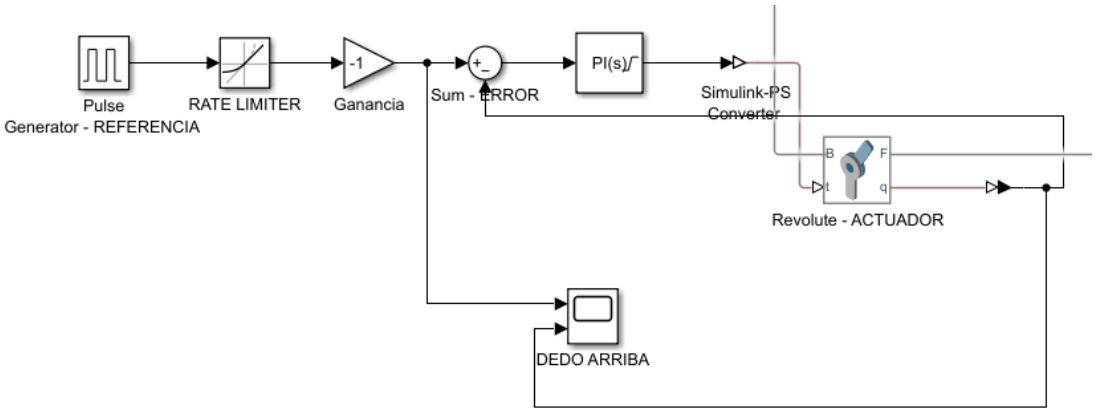



**Fig. 21.** Diagrama de bloques del esquema de control de la articulación 2.

### 4.9.5 Configuración del controlador PI (articulación 1)

En la primera simulación se asignan los valores calculados al controlador PI mediante la asignación de polos teniendo el valor proporcional e integral como se muestra en la Tabla 13.

**Tabla 13.** Valores de Kp y Ki en articulación 1.

| Parámetros de control | Valor |
|---|---|
| Acción proporcional (Kp) | 20 |
| Acción integral (Ki) | 5 |

Después de configurar el PI, se analiza el comportamiento del sistema. De esta manera, se observa en la Fig.22, las 2 señales de la respuesta temporal de los dos lazos de control de la articulación 1.

La señal de color negro representa la posición angular deseada, esta viene dada en radianes. En este caso, la señal es de onda cuadrada la cual se da por el bloque generador de pulso agregado y oscila entre 0 y 1.57 radianes lo que es equivalente a 0 y 90 grados respectivamente.

Por otro lado, la señal color celeste es la posición angular real a la que se quiere llegar. En otras palabras, representa la salida o respuesta del efector final al torque aplicado en el controlador. Esta tiene un sobre impulso al iniciar lo que indica que la ganancia es muy agresiva permitiendo un movimiento agresivo y describiendo un sistema inestable.

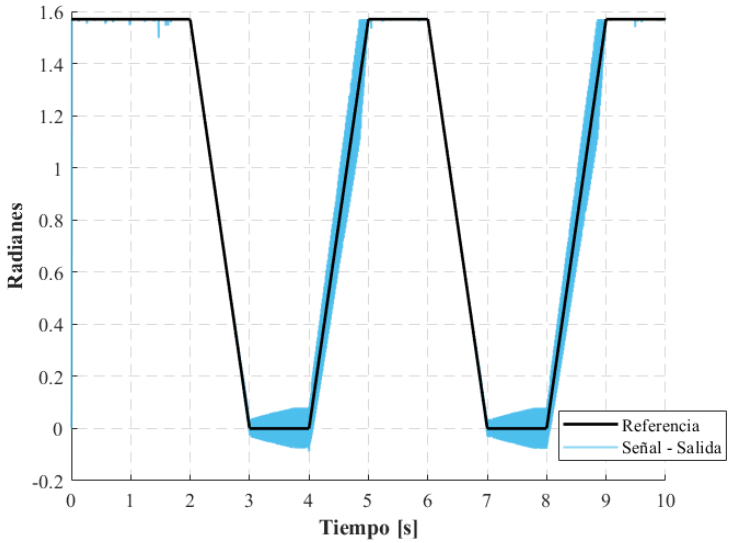



**Fig. 22.** Señal de referencia y posición real – articulación 1.

En la Fig.23, se observa el comportamiento de la articulación 2.

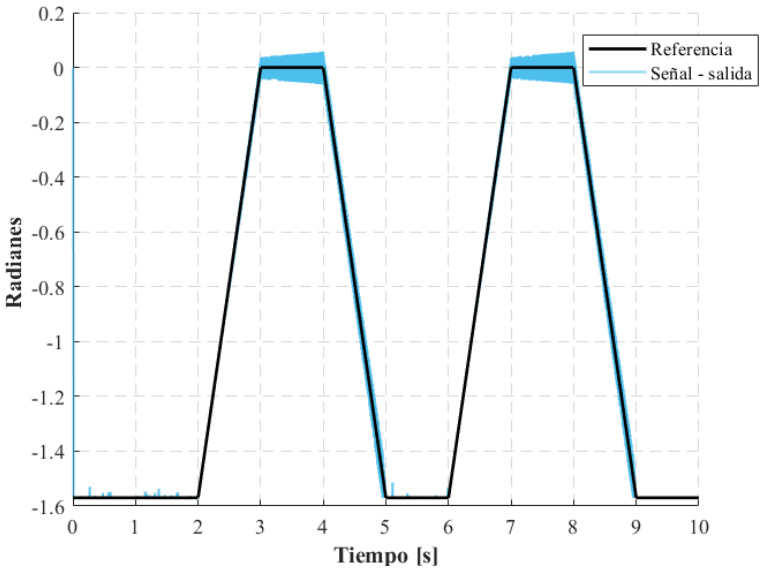



**Fig. 23.** Señal de referencia y posición real – articulación 2.

### 4.9.6 Ajuste experimental del controlador PI (articulación 2)

En la simulación 2 se calibra el control PI de forma experimental ya que, es uno de los métodos tradicionales para eliminar el error y lograr una estabilidad en el sistema, asignando el valor proporcional e integral como se muestra en la Tabla 14.

**Tabla 14.** Valores de Kp y Ki en articulación 2.

| Parámetros de control | Valor |
|---|---|
| Acción proporcional (Kp) | 15 |
| Acción integral (Ki) | 5 |

En este caso, para implementar el controlador PI se coloca una señal de referencia o generación de un pulso, para suavizar la entrada y que la abertura del efector final no tenga un pico tan alto. Se coloca un limitador de velocidad, adicional a esto se añade una operación de suma y resta para la conexión entre el controlador y la relación de posición en este caso una revolución en la articulación principal.

Posteriormente, se configura el control PI como se observa en la Fig.24. Esto se realiza de forma experimental hasta lograr los valores adecuados para que el sistema sea estable y funcional.

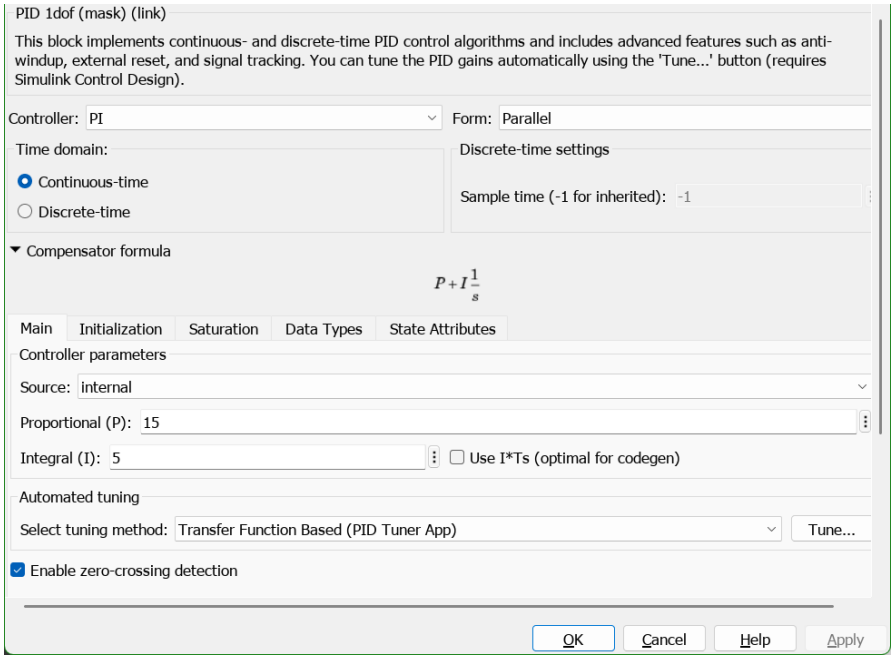



**Fig.24.** Ventana del software para la configuración de las ganancias del controlador del Kp y Ki.

Por último, se coloca un bloque de osciloscopio para analizar el comportamiento de las señales y de esta manera indicar que el sistema funciona, estabilizándose con el control PI. Además, se aplica una saturación al sistema de control para que las articulaciones tengan un límite. En la articulación superior de 1.57 radianes o 90° y un límite en la articulación inferior de -1.57 o -90° como se observa en la Fig.25.

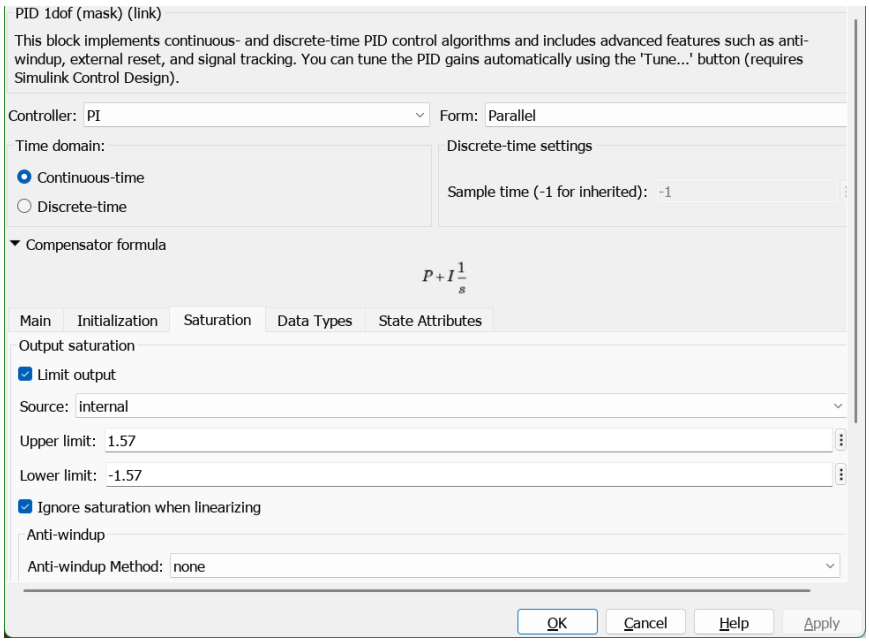



**Fig.25.** Configuración del límite de saturación del PID.

Como consecuencia de las configuraciones y ajuste experimental de valores dentro del controlador PI se realiza la simulación dentro de un lapso de 10s, donde: se aprecia en la Fig.26, que la simulación arranca en una posición 0°.

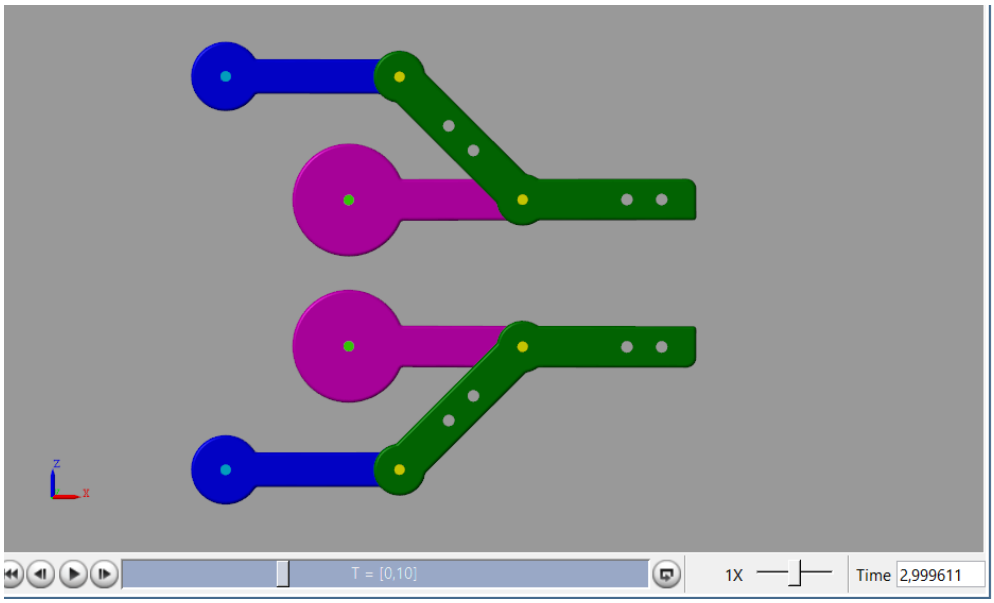



**Fig.26.** Simulación de posición inicial del efector final.

En la Fig.27, se visualiza su desplazamiento hasta una posición de 90°.

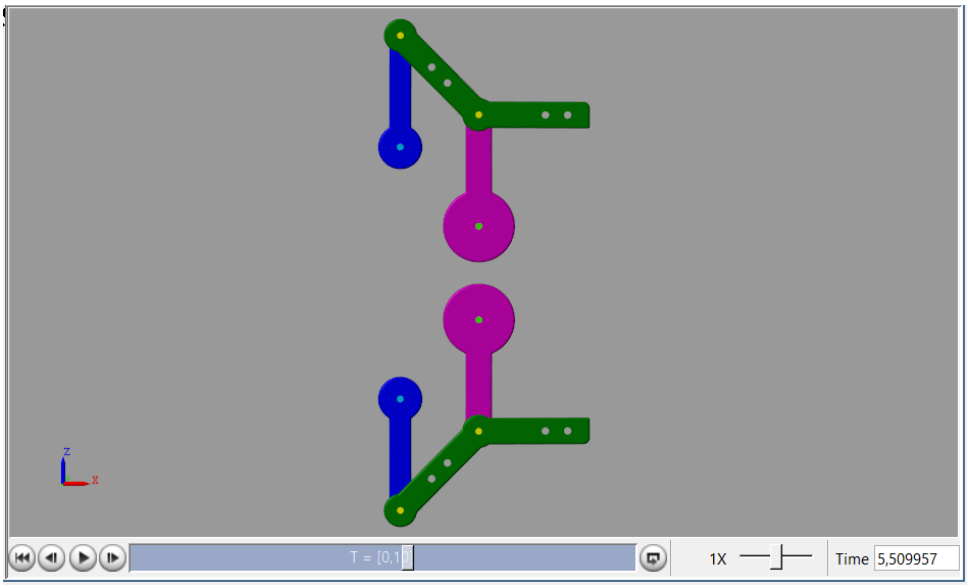



**Fig. 27.** Simulación de posición 90° del efector final.

Finalmente, se observa en la Fig.28. el comportamiento de la articulación 1.

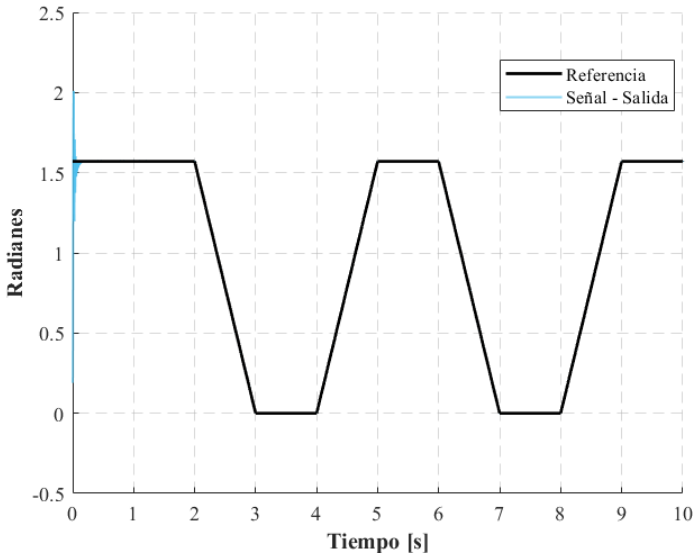



**Fig.28.** Señal de referencia y real – articulación 1.

Después, de un lapso de tiempo se observa en la Fig.29, que la articulación 2 se estabiliza y cumple con las condiciones configuradas en el control PI. Las dos articulaciones funcionan de manera simétrica por lo que el comportamiento es el mismo.

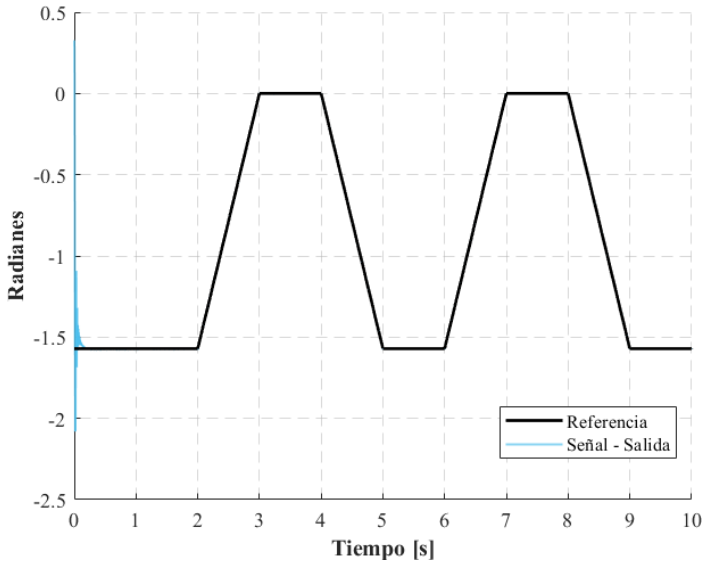



**Fig. 29.** Señal de referencia y real – articulación 2.

## 5 Pruebas de funcionamiento

### 5.1.1 Control PI – dedo derecho

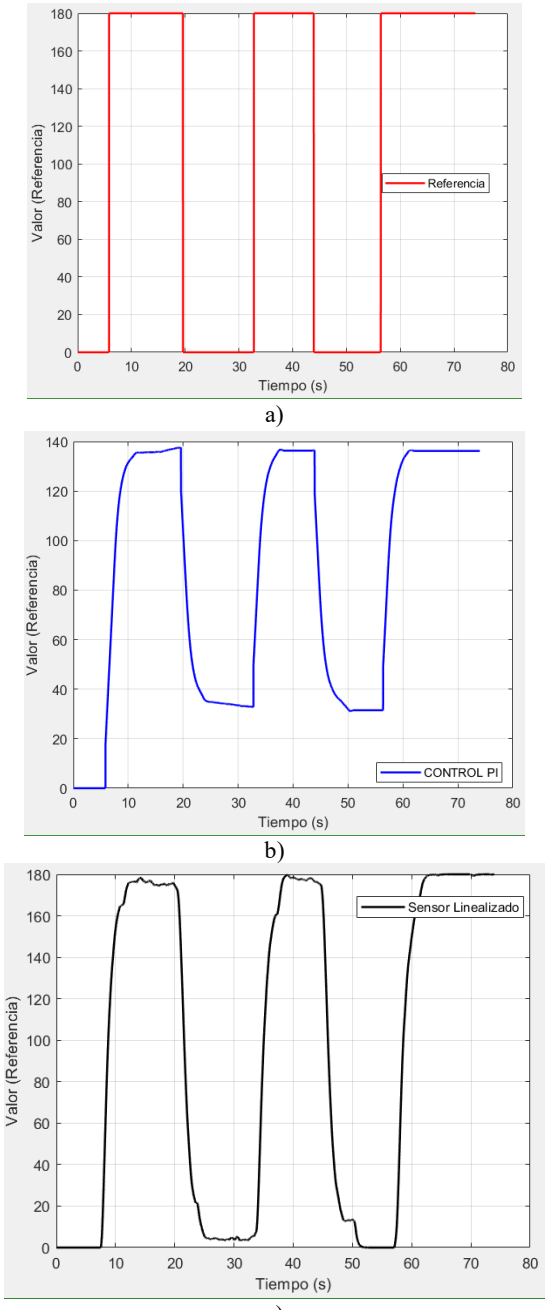



**Fig.30.** Evolución de señales - dedo derecho. a) Señal de referencia b) control PI, c) sensor linealizado.

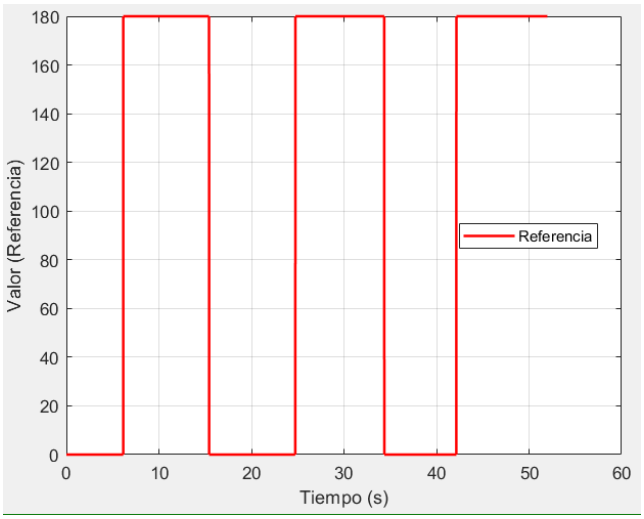
Para el control se realiza una prueba expuesta en la Fig.30. Se observa una señal en a), esta indica el valor referencial a la que los servomotores deben estabilizarse. De esta manera, se aprecia

una segunda señal en b), esta corresponde al controlador PI e indica la respuesta en tiempo real del efector final. Se observa el comportamiento del efector final ante cambios de posición de forma escalonada. Ahora bien, al colocar un valor de referencia de 180° el comportamiento de la señal demuestra una mayor estabilidad, por lo que casi converge con la señal de referencia. Esto indica que el control de posición es efectivo ya que, el control PI está en constante corrección para alcanzar a converger con la señal de referencia.

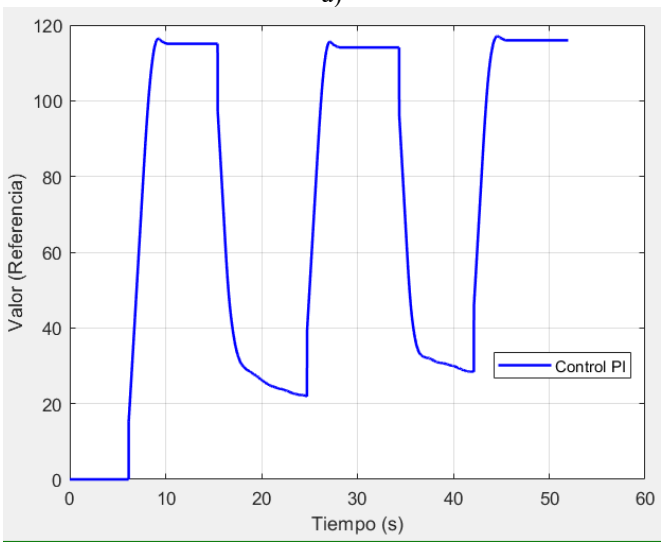
Por otro lado, se observa una tercera señal en c). Esta indica que el sensor trabaja dentro del rango de límites de seguridad establecidos, por lo que así, se evita deformaciones en el efector final y en los objetos que agarra.

### 5.1.2 Control PI – dedo izquierdo

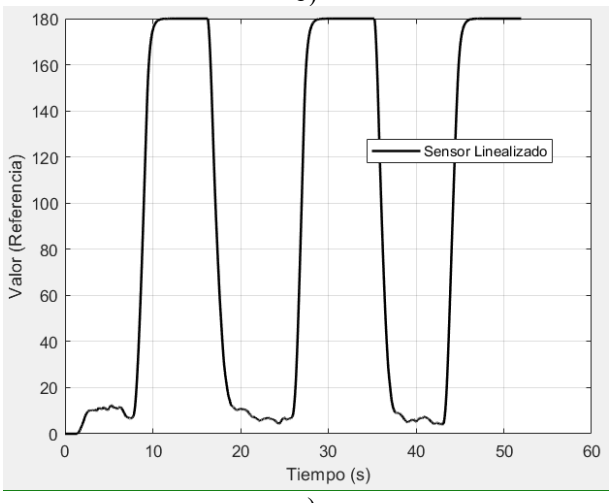
Para el control se realiza una prueba como se observa en la Fig.31. Se observa una primera señal en a), esta indica el valor de referencia. Se asignan valores de 0° y 180°. De esta manera, se observa que el control PI que se observa en b) elimina el error, las señales tienden a converger entre sí y el sensor detecta una posición inicial diferente, por lo que la señal que se observa en c) se corrige y busca establecerse lo más cercano a la señal de referencia.




a)




b)

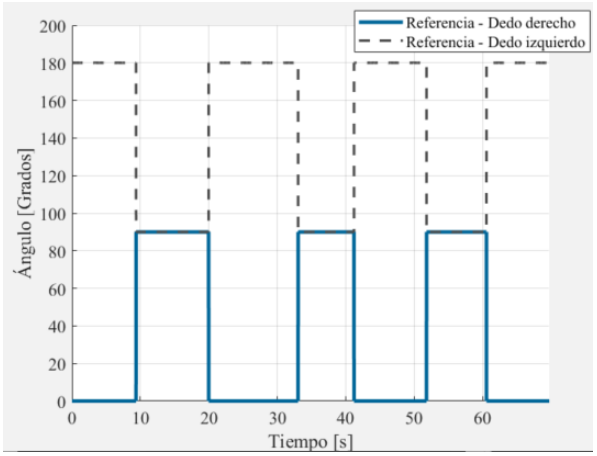



c)

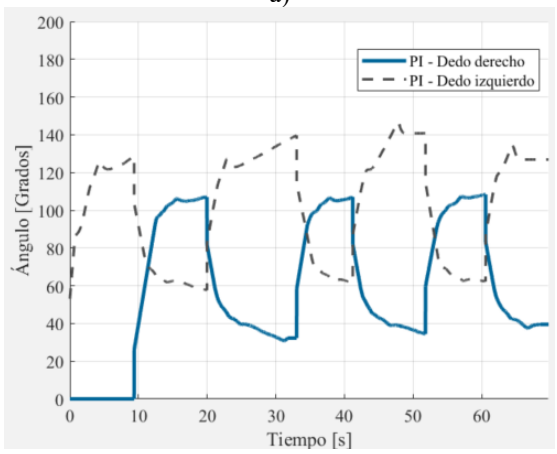
**Fig. 31.** Evolución de señales - dedo izquierdo. a) Señal de referencia b) control PI, c) sensor linealizado.

### 5.1.3 Control PI – botella vacía

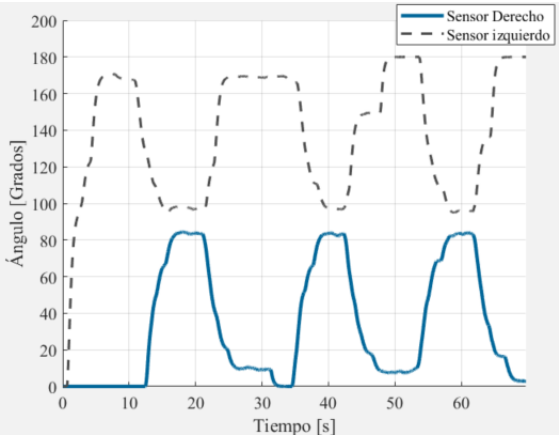
El efector final muestra un funcionamiento óptimo. Se asignan los valores de referencia como se observa en a) van de 0 a 90 grados como se observa en la Fig.32. Se observa en b) que el tiempo de establecimiento está dentro del rango de 4 a 5 segundos. El error es casi nulo en todos los escalones. Por lo que se valida el agarre de objetos cilíndricos mediante una posición requerida. Se observa en c) que no hay presencia de sobre impulsos fuera del límite de seguridad. Así, se garantiza un buen posicionamiento e integración de la estructura y elementos mecánicos con los componentes electrónicos.




a)




b)

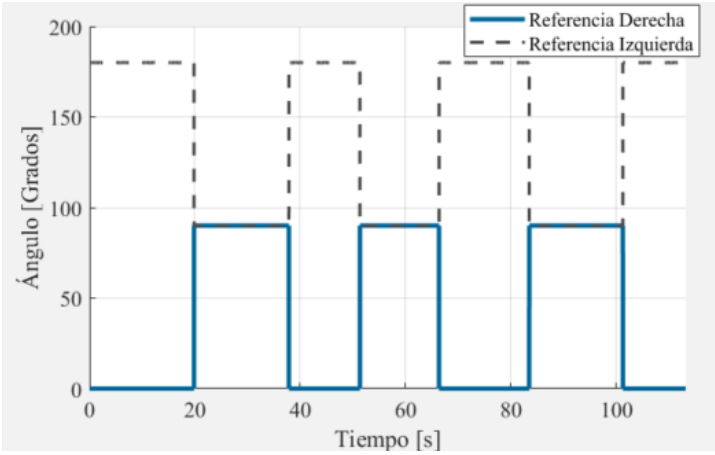


c)

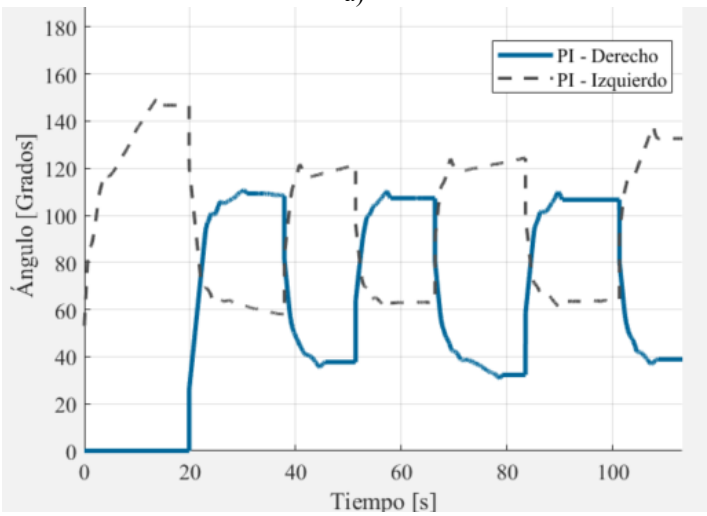
**Fig. 32.** Evolución de señales aplicando una carga - botella vacía. a) Señal de referencia b) Control PI, c) Sensor linealizado.

### 5.1.4 Control PI – botella con agua

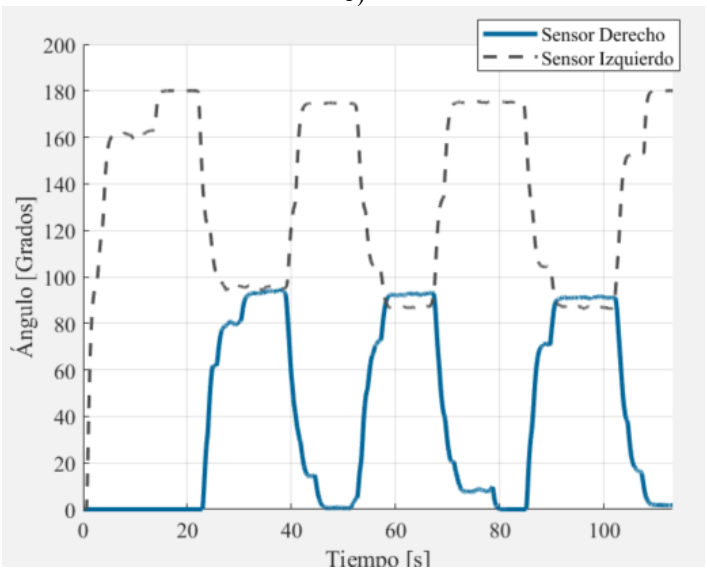
El comportamiento de las señales de referencia se observa en Fig.33. Se asigna los valores de 0 a 90 grados como se observa en a). El controlador PI que se muestra en b), tiene unos sobre impulsos, pero se observa una corrección inmediata, esto indica robustez en el diseño, eliminando casi por completo el error de estado estacionario, logrando estabilizarse como se observa en c) en un periodo de tiempo de entre 5 a 6 segundos. Por otro lado, se observa que la señal supera el valor de referencia demostrando un ajuste al colocar líquido y este se encuentra dentro del rango del límite de seguridad. Esto confirma el correcto diseño y alineación de componentes mecánicos y electrónicos.




a)




b)




c)

**Fig.33.** Evolución de señales aplicando una carga - botella con agua. a) Señal de referencia, b) Control PI, c) Sensor linealizado.

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## Conclusiones

Se determinaron los requerimientos para el diseño del efector final, el cual incorpora un mecanismo simétrico de tres barras en cada pinza para garantizar un agarre equilibrado de objetos cilíndricos. La estructura permite manipular dichos objetos mediante un sistema de eslabones con una abertura mínima de 2,5 cm y máxima de 12,47 cm. Además, el diseño mecánico se validó mediante el cumplimiento de los parámetros establecidos, considerando una tolerancia de ±0,2 cm. El efector final presenta dimensiones de 26 cm de largo, 14 cm de ancho y 7 cm de alto, y mantiene su portabilidad al limitar su peso a 357 g.

La transmisión de fuerza entre los servomotores y los eslabones se logra dado que se aplica una fuerza de 3.78 N en cada eslabón principal. Se garantizó una redundancia en el agarre constante mediante la implementación de resortes a tracción de 2cm, que se conecta a un servomotor MG90S. Se configuro el servomotor para que tenga un torque de 1.83 kg*cm al aplicar 5V. Por ende, los resortes se elongan 0.65 cm, evitando que el objeto cilíndrico se resbale o sufra deformaciones.

El diseño del efector final no solo se compone de una parte mecánica, si no, que se complementa con una parte electrónica, la alimentación eléctrica es de 5V. Se utilizó cable de un solo hilo conductor de diámetro 0.85mm ya que reduce la pérdida de voltaje de entrada en un 98%.

El controlador PI se valida por medio de las variables de Kp y Ki siendo 0.3 y 0.25 la sintonización experimental recomendada a partir de los cálculos iniciales. Se obtuvo un tiempo de respuesta de entre 5 y 6 segundos en cada escalón. La presencia de sobre impulsos es mínima siendo de un 8% a partir de la señal de referencia de 90 grados, estando dentro del rango del límite de seguridad de movimiento del efector final. Por lo que se logró manipular objetos cilíndricos de entre 100 y 300 gramos.

## Recomendaciones

Se propone el diseño del efector final con servomotores de características superiores, un torque mayor o motores paso a paso para manipular objetos más pesados o con superficies amorfas.

Se recomienda realizar las impresiones 3D con otros tipos de material, optimizando la resistencia, durabilidad de la estructura y elementos mecánicos.

Por otro lado, se recomienda modificar el diseño del efector final con la finalidad de agregar otra articulación siendo total de 3 dedos con forma simétrica, este una ayuda para manipular objetos con formas más complejas.

De igual manera, se propone realizar el efector final con la implementación de otro microcontrolador más robusto. Adicionalmente, se propone modificar basado en una necesidad especifica, es decir, realizar un efector final para manipular un objeto en específico en alguna industria especifica.

# Referencias


[1] Robert H "MECHATRONICS" University of Texas at Austin U.S.A 2017

[2] Roncal J. "DISEÑO MECÁNICO DE UN GRIPPER PARA BRAZO ROBOT PARA EL PALETIZADO DE CAJAS DE 20KG Y PALLETS DE 25KG PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA" Lima, octubre del 2015.

[3] F. A. Hongseob Kim, S. B. Jihan Kim, T. C. Bo-Yeong Kang, F. D. Jongwoon Woo, and F. E. Hyung-Taek Baek, "A study on conceptual design of test equipment to evaluate grasp strength of gripper for robotic manipulator," in *International Conference on Control, Automation and Systems*, IEEE Computer Society, Oct. 2020, pp. 100–103. doi: 10.23919/ICCAS50221.2020.9268345.

[4] V. Andrade and R. Gerson, "Desarrollo de un sistema mecatrónico de gripper neumático adaptable para encajonar, desencajonar y seleccionar botellas para el robot KUKA KR 60-3 Item Type info:eu-repo/semantics/bachelorThesis." [Online]. Available: http://hdl.handle.net/10757/661011

[5] M. Netzev, A. Angleraud, and R. Pieters, "Soft robotic gripper with compliant cell stacks for industrial part handling," *IEEE Robot Autom Lett*, vol. 5, no. 4, pp. 6821–6828, Oct. 2020, doi: 10.1109/LRA.2020.3020546.

[6] Y. Yan, S. Guo, C. Yang, C. Lyu, and L. Zhang, "The PG2 Gripper: an Underactuated Two-fingered Gripper for Planar Manipulation," in *2022 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, ICMA 2022*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2022, pp. 680–685. doi: 10.1109/ICMA54519.2022.9856375.

[7] E. Ottaviano, M. Toti, and M. Ceccarelli, "Grasp Force Control in Two-Finger Grippers wiith Pneumatic Actuation," 2000.

[8] *Ritwik C, Srijan B, Bikash B, Subhanis . "Desing and Control Of Two Fingered Compliant Gripper for Micro Gripping" 2014 International Conference on Informatics, Electronics and Vision.*

[9] E. Proaño and L. Tobar, "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL GRIPPER PARA EL BRAZO ROBÓTICO 'UTN.'"

[10] *Chih-Hsing Liu, Chen-Hua Chiu, Ta-Lun Chen, Tzu-Yang Pai, Yang Chen, Mao-Cheng Hsu. AIM 2018 : IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics : 9-12 July 2018Auckland, New Zealand*

[11] *Fieden M, Janik D, Muraszkowski A. "Development and Testing of the Mechatronic Gripper with Two Fingers" 2019 20th International Carpathian Control Conference : 26-29 May 2019, Krakow-Wieliczka, Poland.*

[12] Lechón S and Tobar L, *"OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO MECATRÓNICO DE UN GRIPPER TIPO GARRA DE DOS DEDOS."* 2012.

[13] M. Habibi, G. Sutera, D. C. Guastella, and G. Muscato, "Design and Experimental Validation of a 3D-Printed Two-Finger Gripper with a V-Shaped Profile for Lightweight Waste Collection," *Robotics*, vol. 14, no. 7, Jul. 2025, doi: 10.3390/robotics14070087.

[14] B. A. Richardson, F. Grüninger, L. Mack, J. Stueckler, and K. J. Kuchenbecker, "ISyHand: A Dexterous Multi-finger Robot Hand with an Articulated Palm," Sep. 2025, [Online]. Available: http://arxiv.org/abs/2509.26236

[15] Liliana Serna C., Aída Rodríguez de S., and Fred Albán A., "Ácido Poliláctico (PLA): Propiedades y Aplicaciones" 2003.

[16] Galbiati A, "Impresión 3D, tecnología y polímeros" AADECA. Volver a las fuentes | Artículo técnico. Abril – Junio 2019.

[17] Z. Samadikhoshkho, K. Zareinia, and F. Janabi-Sharifi, "A Brief Review on Robotic Grippers Classifications." 2019 IEEE.

[18] AADECA REVISTA, "Servomotores: control, precisión y velocidad" marzo – abril 2017.

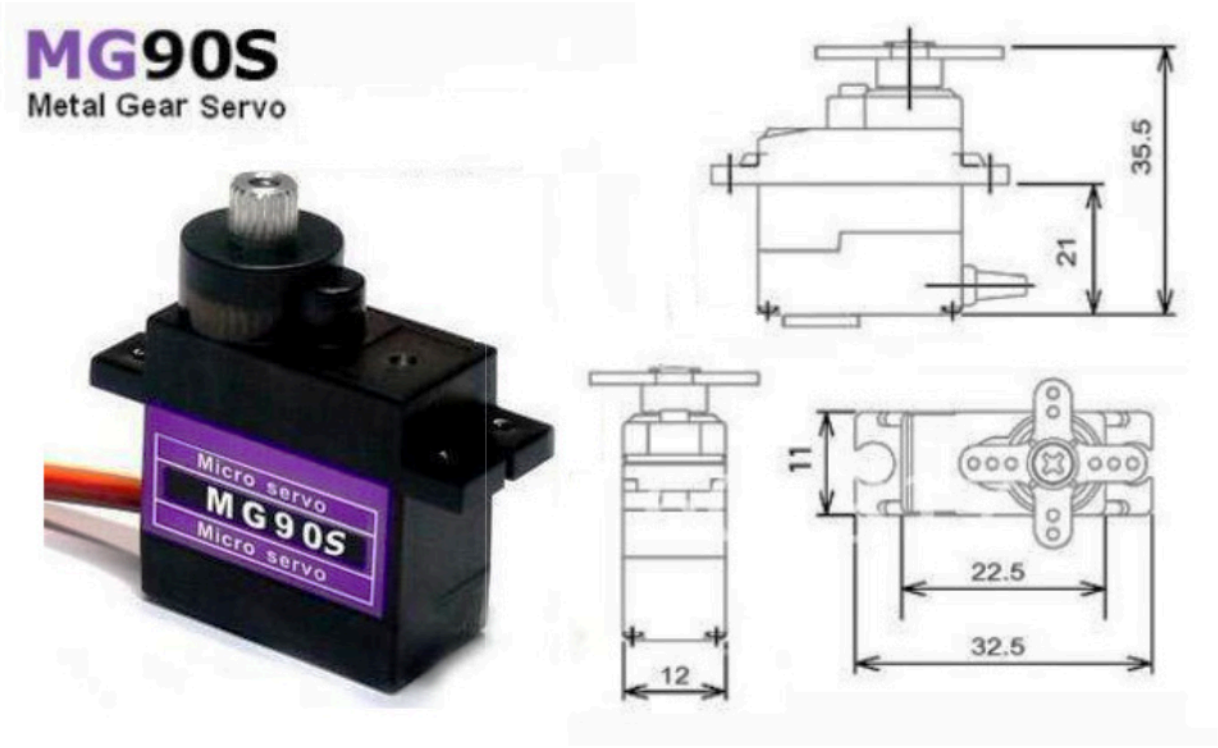
[19] Vital M, "Introducción a Arduino" Vol. 9, No17 (2021) 4 – 8. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/prepa4/issue/archive

[20] P. Edición, "ESP32: MANUAL BÁSICO PARA ESTUDIANTES ORTIZ ARCINIEGA-VALENCIA BARAHONA-BOSMEDIANO CÁRDENAS-BASTIDAS JÁCOME-AGUIRRE CHAGNA-JÁCOME AYALA." [Online]. Available: https://orcid.org/0000-0002-0883-6780

[21] V. Mazzone and R. Centrífugo De Watt, "Controladores PID." [Online]. Available: http://iaci.unq.edu.ar/caut1

# Anexos

Anexo 1: Hoja de datos del servomotor



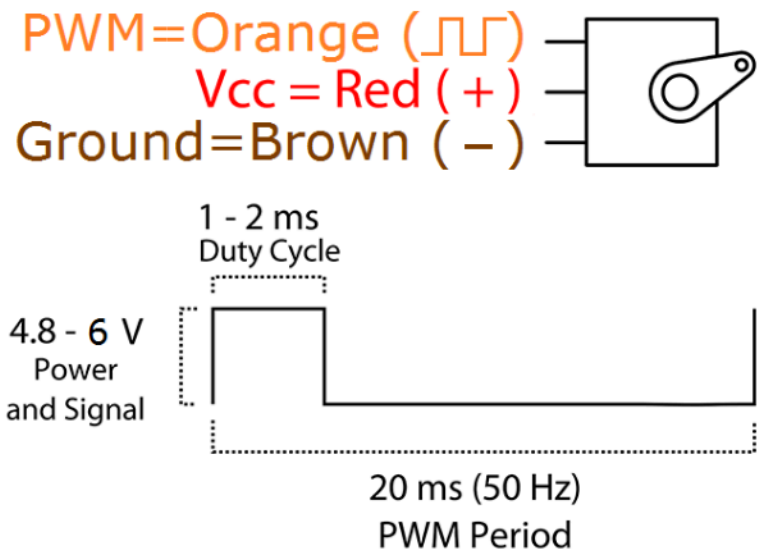

**MG90S servo, Metal gear with one bearing**

Tiny and lightweight with high output power, this tiny servo is perfect for RC Airplane, Helicopter, Quadcopter or Robot. This servo has *metal gears* for added strength and durability.

Servo can rotate approximately 180 degrees (90 in each direction), and works just like the standard kinds but *smaller*. You can use any servo code, hardware or library to control these servos. Good for beginners who want to make stuff move without building a motor controller with feedback & gear box, especially since it will fit in small places. It comes with a 3 horns (arms) and hardware.

**Specifications**

- Weight: 13.4 g
- Dimension: 22.5 x 12 x 35.5 mm approx.
- Stall torque: 1.8 kgf·cm (4.8V ), 2.2 kgf·cm (6 V)
- Operating speed: 0.1 s/60 degree (4.8 V), 0.08 s/60 degree (6 V)
- Operating voltage: 4.8 V - 6.0 V
- Dead band width: 5 µs




Position "0" (1.5 ms pulse) is middle, "90" (~2 ms pulse) is all the way to the right, "-90" (~1 ms pulse) is all the way to the left.

Anexo 2: Hoja de datos del sensor

## SV01A103AEA01R00



# Rotary Position Sensor

High Rotational Life Type

### Features

- High Durability: 1M cycles
- Pb Free Soldering: 260°C
- Operating Temperature: -40°C to +85°C
- Terminal Shape: SMD Type and Lead Type
- Rotational Rotor: Through Hole Type
- Thin Type: 2.1mm
- RoHS Compliant

### Applications

- Switch for white goods
- Digital still camera
- Switch for automotive
- Car audio
- Multi-function printer
- Robo
- Motor drive unitt

### Overview

Value analysis type for Consumer and Automotive market.

Small 12mm-size position sensors can be operated at temperatures from -40 to +85 degC, and has endurance of up to 1M cycles

## 2. Specification

### 2.1 Operating Conditions

Table 1. Operating Conditions

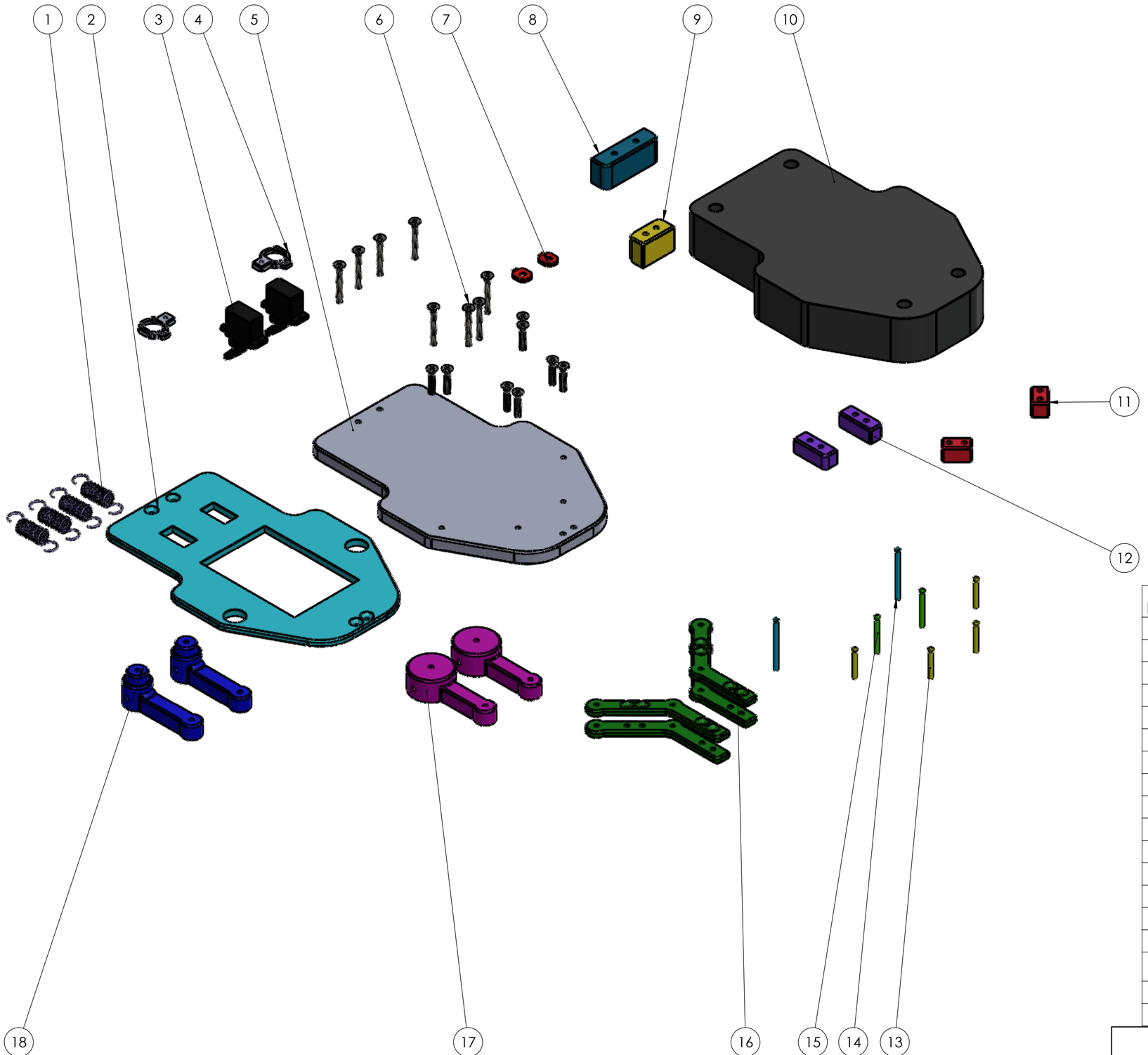
| Parameter | Spec | Test Method |
|---|---|---|
| Rated voltage | DC5±0.5V | |
| Operating Temperature Range | -40 ~ +85 degC | |

### 2.2 Performance of Electrical Specifications

Table 2. Performance of Electrical Specifications

| Parameter | Spec | Test Method |
|---|---|---|
| Standard total resistance range | 10K ohm | |
| Standard total resistance range | ±30% of standard total resistance value | |
| Linearity | ±2% | 4.1 |
| Dielectric strength | 250Vac, 1 minute, Leakage current less than 50μA | |
| Insulation resistance | 100Mohm min. (250Vdc) | |
| Temperature coefficient of resistance (TCR) | ±500ppm/°C | 4.2 |
| Electrical rotational angle | (Ref. : 333.3°) | |
| Electrical open area | 15°max. | |
| Rotational torque | 2mN·m (Ref.; 21gf·cm) max. | |

Anexo 3: Modelo del prototipo en 3D




| N.° DE ELEMENTO | N.° DE PIEZA | DESCRIPCIÓN | CANTIDAD |
|---|---|---|---|
| 1 | RESORTE | ELEMENTO ESTÁNDAR | 4 |
| 2 | TAPA | TF-TI3 | 1 |
| 3 | TOWER_PRO_MG90S | TF-SM15 | 2 |
| 4 | soporte sensor | TF-SS14 | 1 |
| 5 | BASE | TF-B1 | 1 |
| 6 | M4 x 0.7 x 30 | ELEMENTO ESTÁNDAR | 8 |
| 7 | SENSOR BK10-H3 | TF-S9 | 2 |
| 8 | UNION | TF-A7 | 1 |
| 9 | UNION 2 | TF-A8 | 1 |
| 10 | TAPAFINAL | TF-TF2 | 1 |
| 11 | UNION 3 | TF-A9 | 2 |
| 12 | UNION 4 | TF-A10 | 2 |
| 13 | PASADOR | TF-PA11 | 4 |
| 14 | PASADOR2 | TF-PS13 | 2 |
| 15 | PASADOR3 | TF-PA12 | 2 |
| 16 | ARTIUCLACIÓN 2 BASE 1 | TF-AT6 | 4 |
| 17 | ARTICULACIÓN 6 | TF-AP4 | 2 |
| 18 | ARTIUCLACIÓN 1 | TF-AS5 | 2 |

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
AUTÓNOMA DESDE 1995
IBARRA - ECUADOR

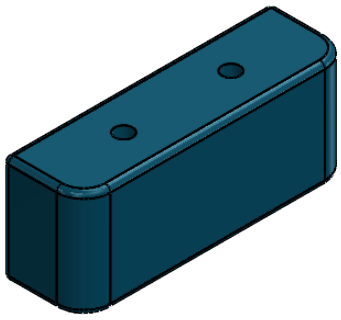
FICA | CIME

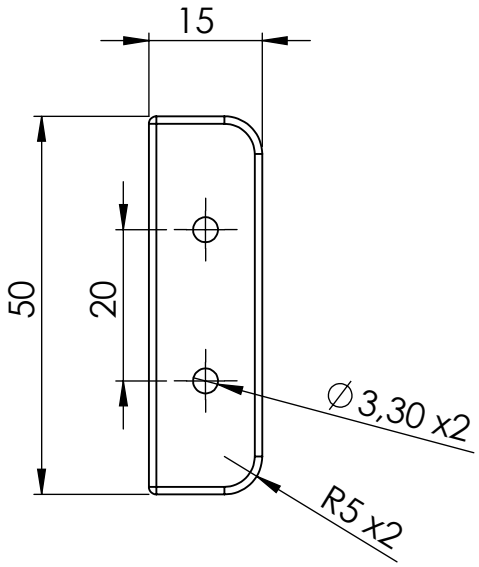
PROYECTO: EFECTOR FINAL TIPO PINZA CON CONTROL DE FUERZA
CONJUNTO: EFECTOR FINAL TIPO PINZA CON CONTROL DE FUERZA
CÓDIGO: TF-00

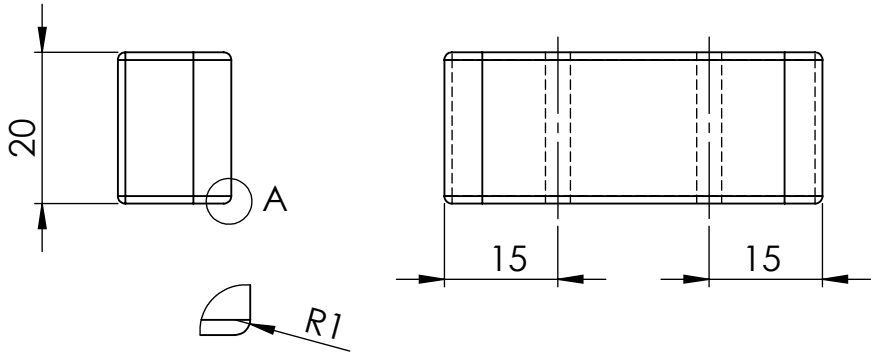
ESCALA 1:10

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| PESO | 0.75KG | DISEÑÓ | CHAGNA S. | 25/11/2025 | HOJA 1/1 |
| LARGO | 260mm | DIBUJÓ | CHAGNA S. | 24/02/2026 | |
| ANCHO | 140mm | REVISÓ | TOBAR L. | 25/02/2026 | A2 |
| ALTO | 70mm | APROBÓ | TOBAR L. | 25/02/2026 | |

Anexo 4: Planos mecánicos



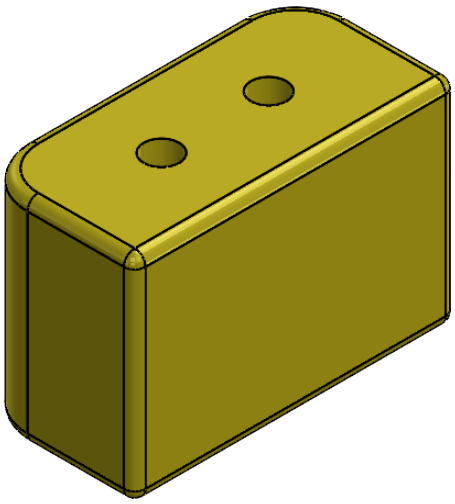


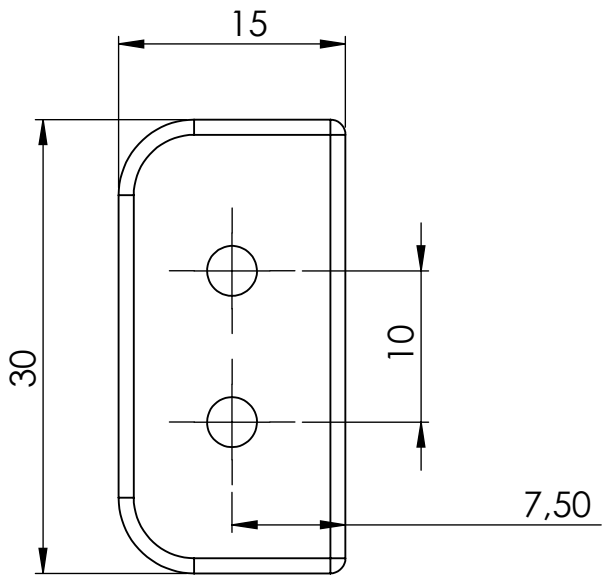



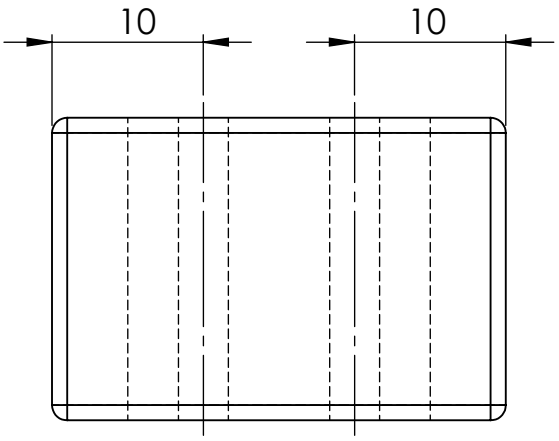

DETALLE A
ESCALA 2 : 1

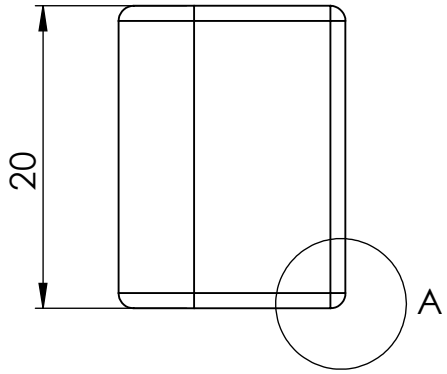
| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| UTN | CIME | PROYECTO: EFECTOR FINAL TIPO PINZA CON CONTROL DE FUERZA | | | | ESCALA: 1:1 |
| | | PARTE: ADAPTADOR 1 | | | | |
| | | CÓDIGO: TF-A7 | | | | TOLERANCIA: ± 0.2 |
| | | MATERIAL: | PLA | DISEÑÓ: | CHAGNA S. | 12/11/2025 |
| | | TRATAMIENTO: | NINGUNO | DIBUJÓ: | CHAGNA S. | 24/02/2026 |
| | | RECUBRIMIENTO: | NINGUNO | REVISÓ: | TOBAR L. | 25/02/2026 |
| | | CANTIDAD: | 1 | APROBÓ: | TOBAR L. | 25/02/2026 |

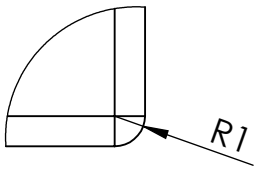
HOJA: 1/1
A4





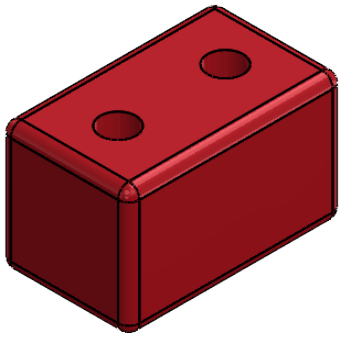



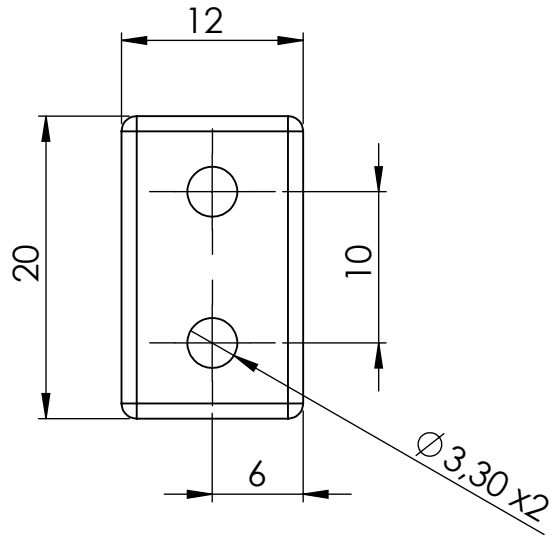



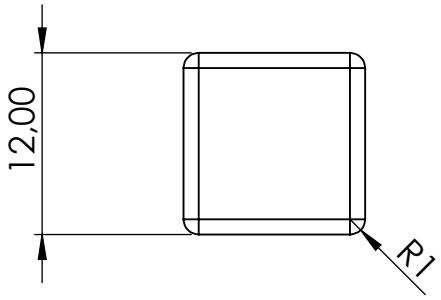



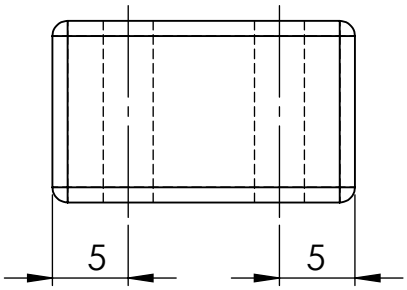

DETALLE A
ESCALA 4 : 1

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | PROYECTO: EFECTOR FINAL TIPO PINZA CON CONTROL DE FUERZA | | | | ESCALA: 2:1 | |
| | | PARTE: ADAPTADOR 2 | | | | | |
| | | CÓDIGO: TF-A8 | | | | TOLERANCIA: ± 0.2 | |
| | | MATERIAL: | PLA | DISEÑÓ: | CHAGNA S. | 12/11/2025 | HOJA: 1/1 |
| | | TRATAMIENTO: | NINGUNO | DIBUJÓ: | CHAGNA S. | 24/02/2026 | |
| UTN | CIME | RECUBRIMIENTO: | NINGUNO | REVISÓ: | TOBAR L. | 25/02/2026 | A4 |
| | | CANTIDAD: | 1 | APROBÓ: | TOBAR L. | 25/02/2026 | |

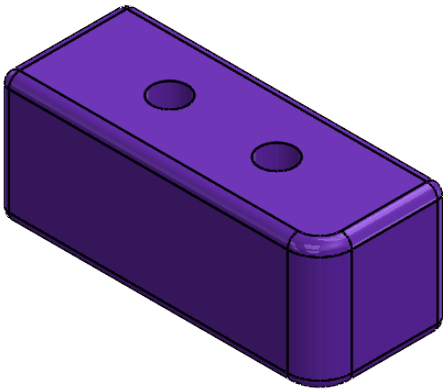


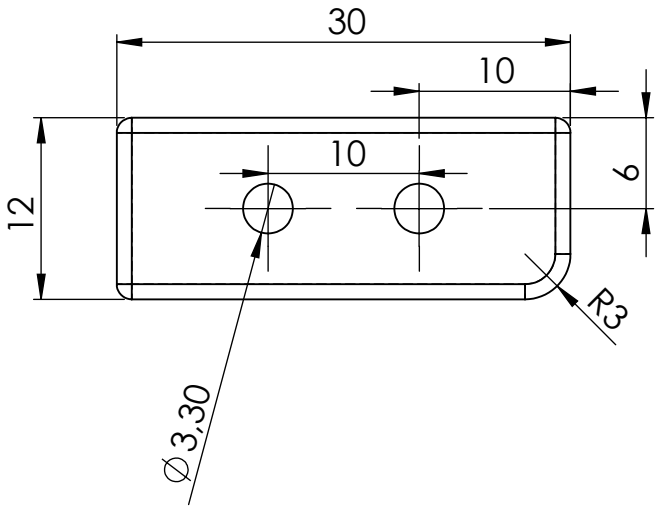


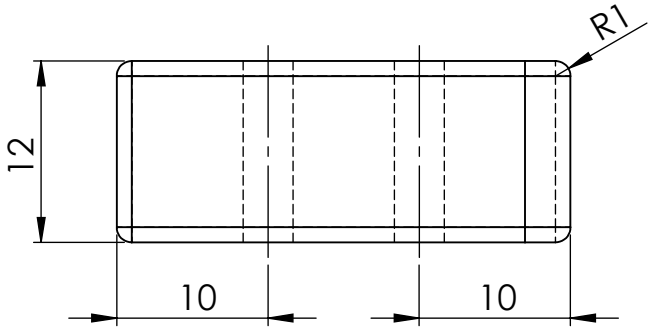




| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| UTN | CIME | PROYECTO: EFECTOR FINAL TIPO PINZA CON CONTROL DE FUERZA | | | | ESCALA: 2:1 | |
| | | PARTE: ADAPTADOR 3 | | | | | |
| | | CÓDIGO: TF-A9 | | | | TOLERANCIA: ± 0.2 | |
| | | MATERIAL: | PLA | DISEÑÓ: | CHAGNA S. | 12/11/2025 | HOJA: 1/1 A4 |
| | | TRATAMIENTO: | NINGUNO | DIBUJÓ: | CHAGNA S. | 24/02/2026 | |
| | | RECUBRIMIENTO: | NINGUNO | REVISÓ: | TOBAR L. | 25/02/2026 | |
| | | CANTIDAD: | 2 | APROBÓ: | TOBAR L. | 25/02/2026 | |

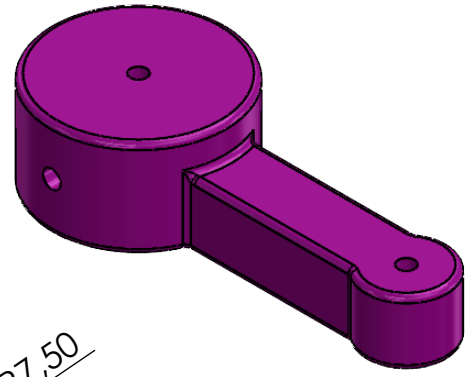


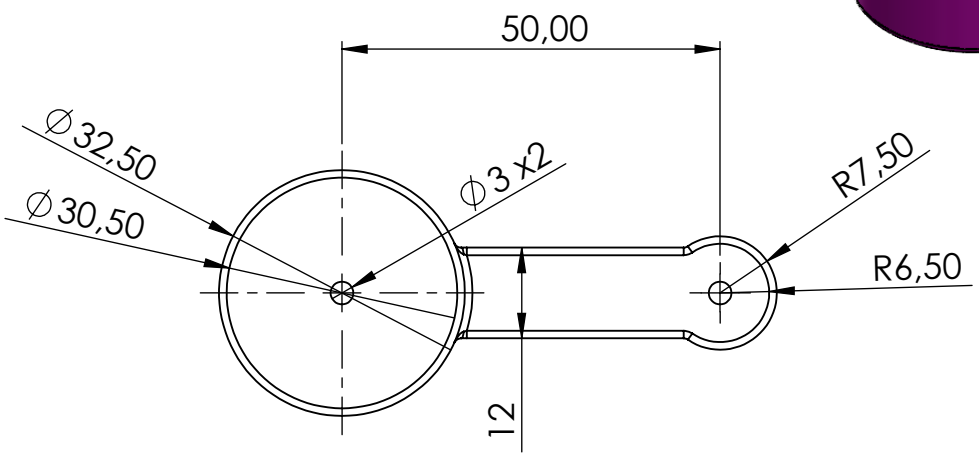


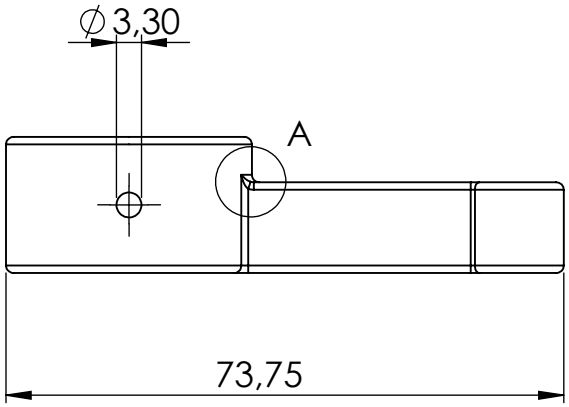



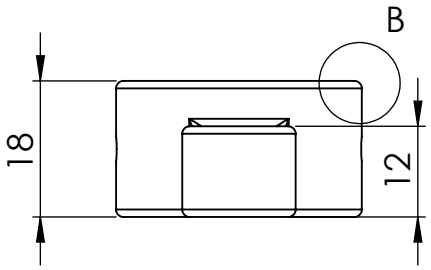

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| UTN | CIME | PROYECTO: EFECTOR FINAL TIPO PINZA CON CONTROL DE FUERZA | | | | ESCALA: 2:1 |
| | | PARTE: ADAPTADOR 4 | | | | |
| | | CÓDIGO: TF-A10 | | | | TOLERANCIA: ± 0.2 |
| | | MATERIAL: | PLA | DISEÑÓ: | CHAGNA S. | 12/11/2025 |
| | | TRATAMIENTO: | NINGUNO | DIBUJÓ: | CHAGNA S. | 24/02/2026 |
| | | RECUBRIMIENTO: | NINGUNO | REVISÓ: | TOBAR L. | 25/02/2026 |
| | | CANTIDAD: | 2 | APROBÓ: | TOBAR L. | 25/02/2026 |

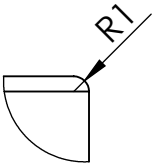
HOJA: 1/1 A4



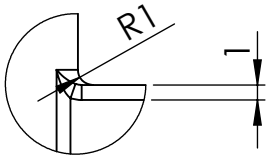


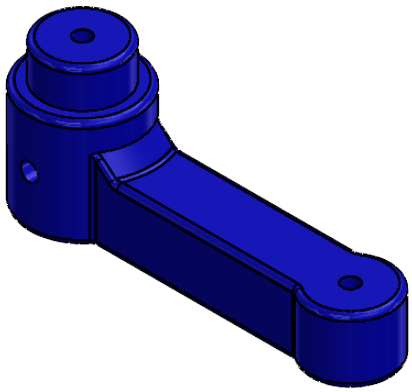

DETALLE B
ESCALA 2 : 1

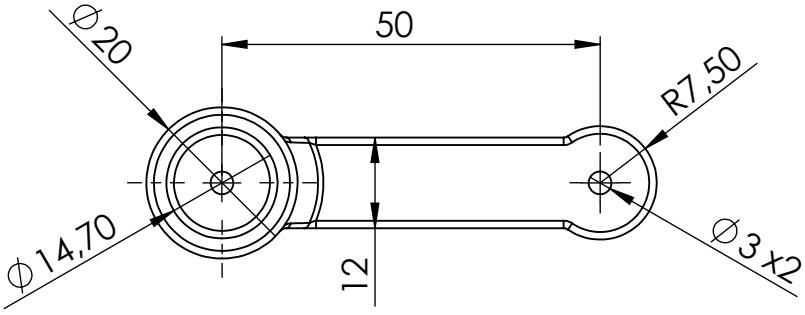


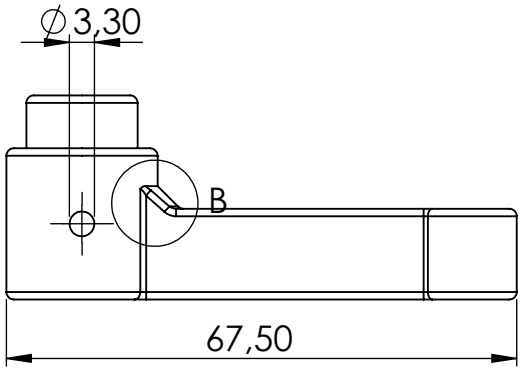

DETALLE A
ESCALA 2 : 1

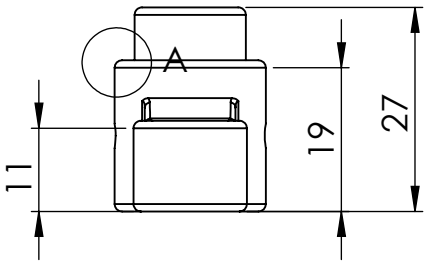
| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| UTN | CIME | PROYECTO: EFECTOR FINAL TIPO PINZA CON CONTROL DE FUERZA | | | | ESCALA: 1:1 |
| | | PARTE: ARTICULACIÓN PRINCIPAL | | | | |
| | | CÓDIGO: TF-AP4 | | | | TOLERANCIA: ± 0.2 |
| | | MATERIAL: | PLA | DISEÑÓ: | CHAGNA S. | 12/11/2025 |
| | | TRATAMIENTO: | NINGUNO | DIBUJÓ: | CHAGNA S. | 24/02/2026 |
| | | RECUBRIMIENTO: | NINGUNO | REVISÓ: | TOBAR L. | 25/02/2026 |
| | | CANTIDAD: | 2 | APROBÓ: | TOBAR L. | 25/02/2026 |

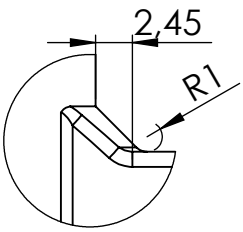
HOJA: 1/1 A4



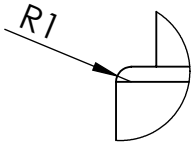


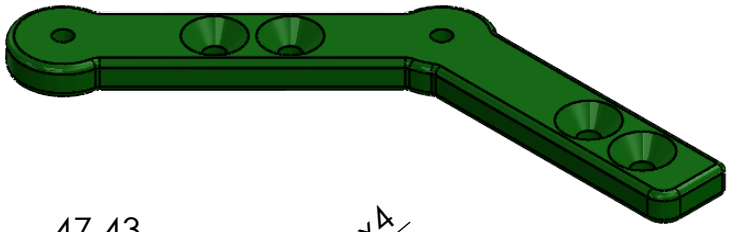



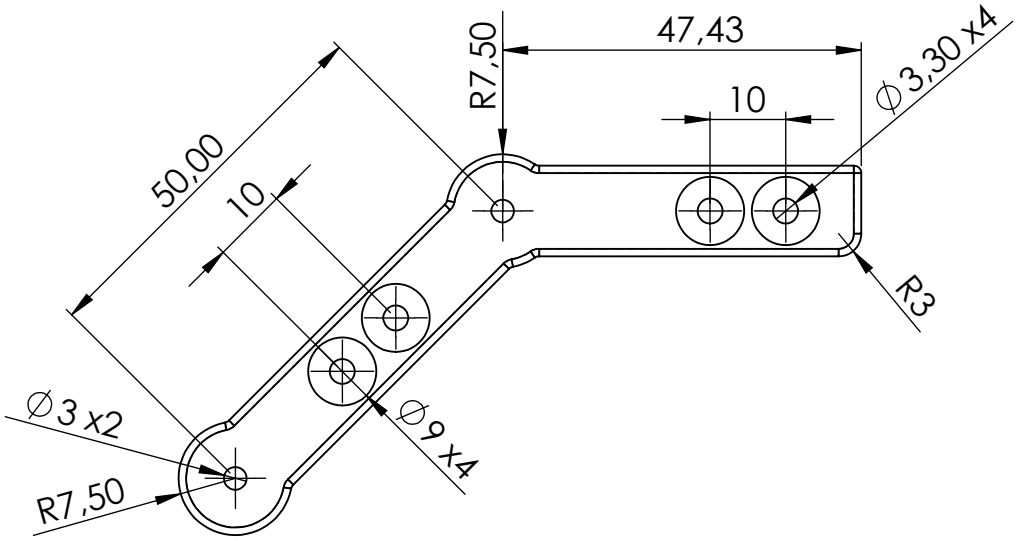

DETALLE B
ESCALA 2 : 1

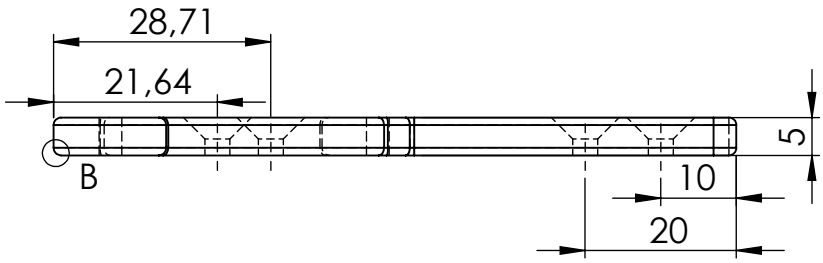



DETALLE A
ESCALA 2 : 1

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE | | PROYECTO: EFECTOR FINAL TIPO PINZA CON CONTROL DE FUERZA | | | ESCALA: 1:1 | |
| | | PARTE: ARTICULACIÓN SECUNDARIA | | | | |
| | | CÓDIGO: TF-AS5 | | | TOLERANCIA: ± 0.2 | |
| | | MATERIAL: | PLA | DISEÑÓ: CHAGNA S. | 12/11/2025 | HOJA: 1/1 |
| | | TRATAMIENTO: | NINGUNO | DIBUJÓ: CHAGNA S. | 24/02/2026 | A4 |
| UTN | CIME | RECUBRIMIENTO: | NINGUNO | REVISÓ: TOBAR L. | 25/02/2026 | |
| | | CANTIDAD: | 2 | APROBÓ: TOBAR L. | 25/02/2026 | |



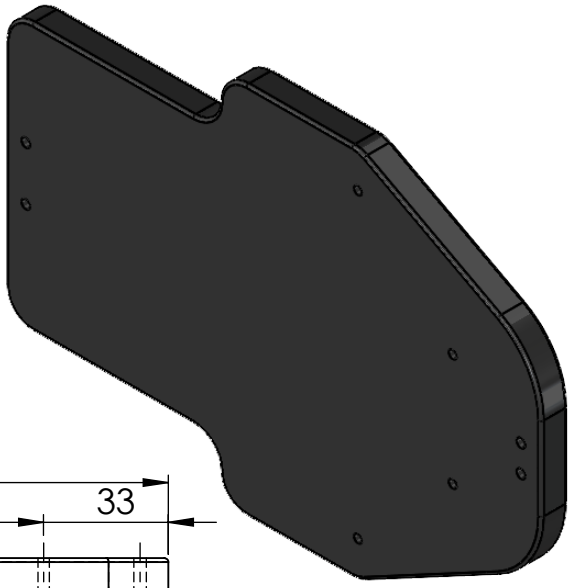


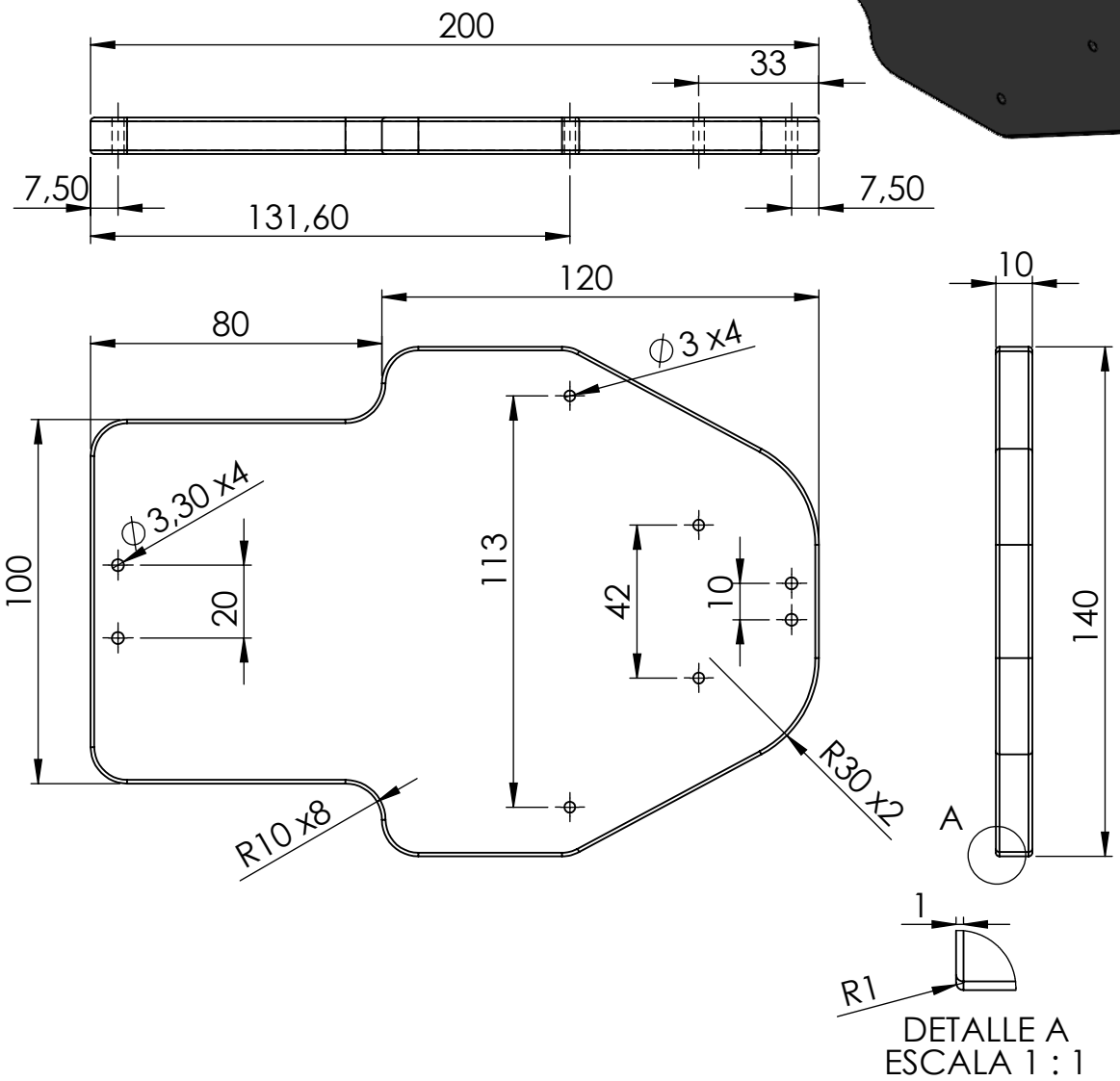




R1

DETALLE B
ESCALA 2 : 1

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE | | PROYECTO: EFECTOR FINAL TIPO PINZA CON CONTROL DE FUERZA | | | | ESCALA: 1:2 | |
| | | PARTE: ARTICULACIÓN TERCIARIA | | | | | |
| | | CÓDIGO: TF-AT6 | | | | TOLERANCIA: ± 0.2 | |
| | | MATERIAL: | PLA | DISEÑÓ: | CHAGNA S. | 12/11/2025 | HOJA: 1/1 A4 |
| | | TRATAMIENTO: | NINGUNO | DIBUJÓ: | CHAGNA S. | 24/02/2026 | |
| UTN | CIME | RECUBRIMIENTO: | NINGUNO | REVISÓ: | TOBAR L. | 25/02/2026 | |
| | | CANTIDAD: | 4 | APROBÓ: | TOBAR L. | 25/02/2026 | |

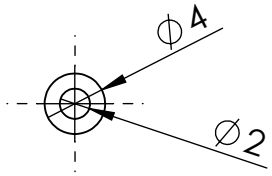




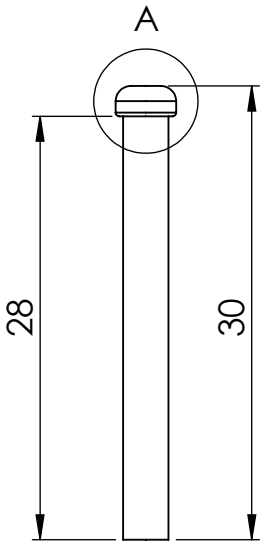

DETALLE A
ESCALA 1 : 1

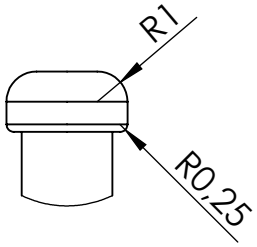
| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| UTN | CIME | PROYECTO: EFECTOR FINAL TIPO PINZA CON CONTROL DE FUERZA | | | | ESCALA: 1:2 |
| | | PARTE: BASE | | | | |
| | | CÓDIGO: TF-B1 | | | | TOLERANCIA: ± 0.2 |
| | | MATERIAL: | PLA | DISEÑÓ: | CHAGNA S. | 12/11/2025 |
| | | TRATAMIENTO: | NINGUNO | DIBUJÓ: | CHAGNA S. | 24/02/2026 |
| | | RECUBRIMIENTO: | NINGUNO | REVISÓ: | TOBAR L. | 25/02/2026 |
| | | CANTIDAD: | 1 | APROBÓ: | TOBAR L. | 25/02/2026 |

HOJA: 1/1
A4





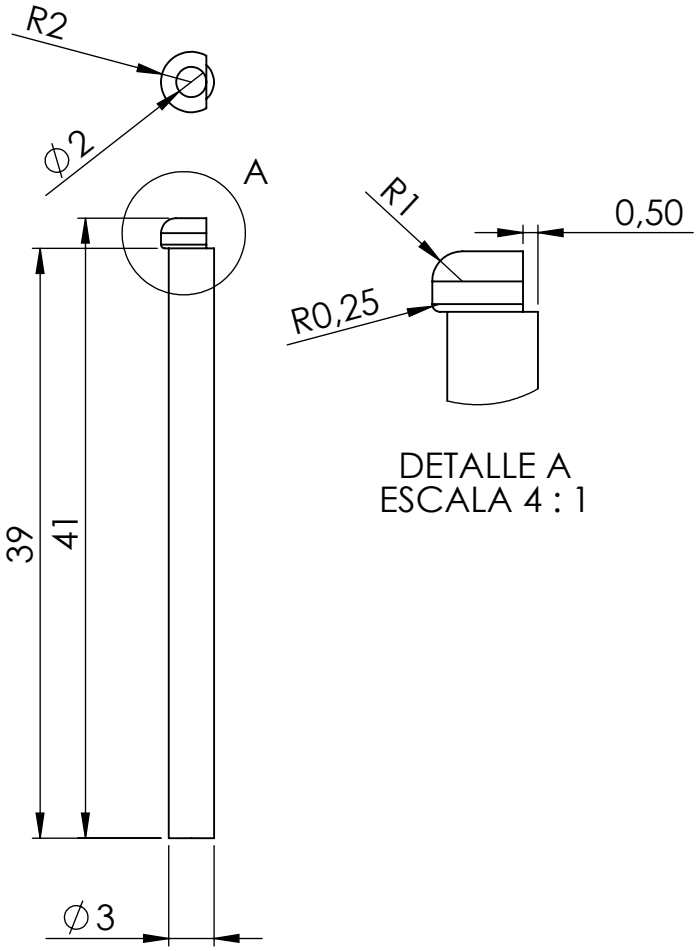




DETALLE A
ESCALA 4 : 1

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | PROYECTO: EFECTOR FINAL TIPO PINZA CON CONTROL DE FUERZA | | | | ESCALA: 2:1 | |
| | | PARTE: PASADOR DE ARTICULACIONES | | | | | |
| | | CÓDIGO: TF-PA12 | | | | TOLERANCIA: ± 0.2 | |
| | | MATERIAL: | ALUMINIO | DISEÑÓ: | CHAGNA S. | 12/11/2025 | HOJA: 1/1 |
| | | TRATAMIENTO: | NINGUNO | DIBUJÓ: | CHAGNA S. | 24/02/2026 | |
| UTN | CIME | RECUBRIMIENTO: | NINGUNO | REVISÓ: | TOBAR L. | 25/02/2026 | A4 |
| | | CANTIDAD: | 6 | APROBÓ: | TOBAR L. | 25/02/2026 | |

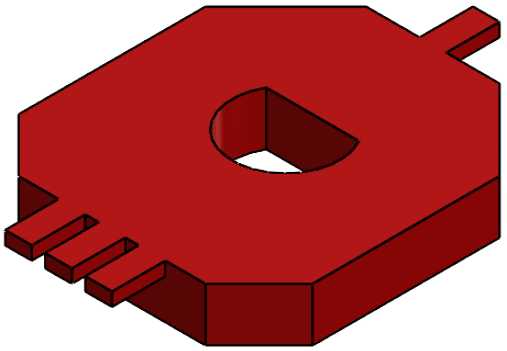


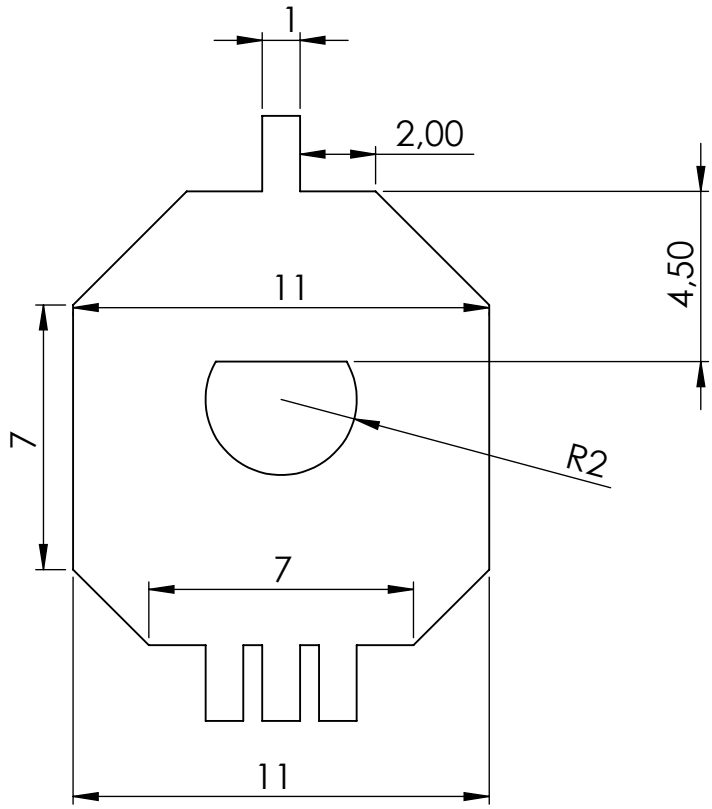


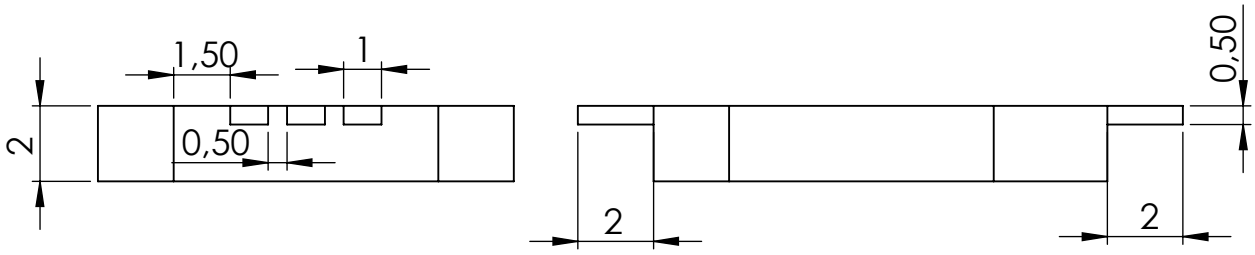

DETALLE A
ESCALA 4 : 1

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| UTN | CIME | PROYECTO: EFECTOR FINAL TIPO PINZA CON CONTROL DE FUERZA | | | | ESCALA: 2:1 |
| | | PARTE: PASADOR DE SENSOR | | | | |
| | | CÓDIGO: TF-PS13 | | | | TOLERANCIA: ± 0.2 |
| | | MATERIAL: | ALUMINIO | DISEÑÓ: | CHAGNA S. | 12/11/2025 |
| | | TRATAMIENTO: | NINGUNO | DIBUJÓ: | CHAGNA S. | 24/02/2026 |
| | | RECUBRIMIENTO: | NINGUNO | REVISÓ: | TOBAR L. | 25/02/2026 |
| | | CANTIDAD: | 2 | APROBÓ: | TOBAR L. | 25/02/2026 |

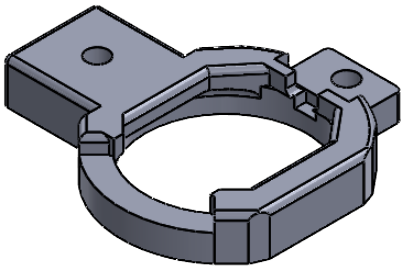
HOJA: 1/1
A4

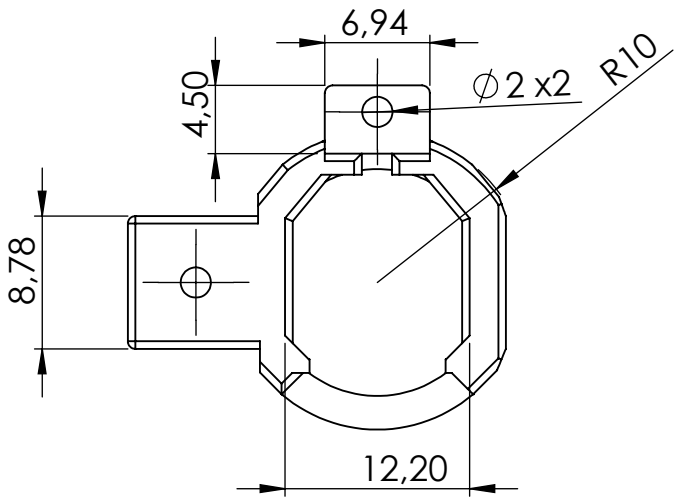


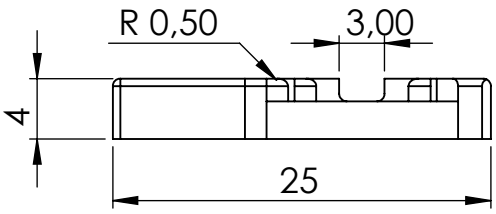


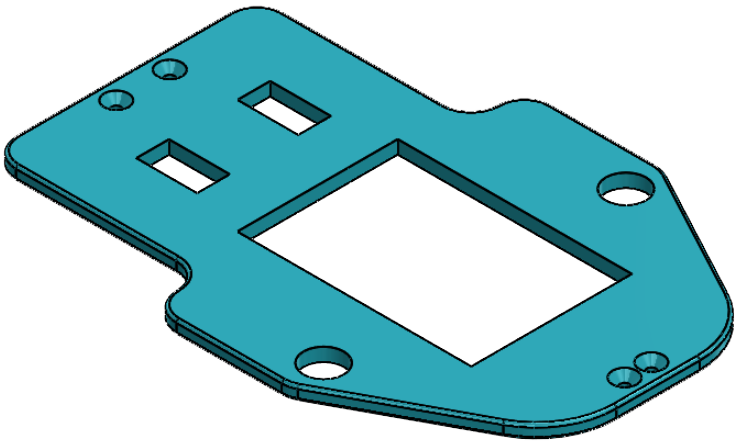

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | PROYECTO: EFECTOR FINAL TIPO PINZA CON CONTROL DE FUERZA | | | | ESCALA: 2:1 | |
| | | PARTE: SENSOR BK10-H3 | | | | | |
| | | CÓDIGO: TF-S9 | | | | TOLERANCIA: ± 0.2 | |
| | | MATERIAL: | CERMET | DISEÑÓ: | CHAGNA S. | 12/11/2025 | HOJA: 1/1 |
| | | TRATAMIENTO: | NINGUNO | DIBUJÓ: | CHAGNA S. | 24/02/2026 | A4 |
| UTN | CIME | RECUBRIMIENTO: | NINGUNO | REVISÓ: | TOBAR L. | 25/02/2026 | |
| | | CANTIDAD: | 2 | APROBÓ: | TOBAR L. | 25/02/2026 | |

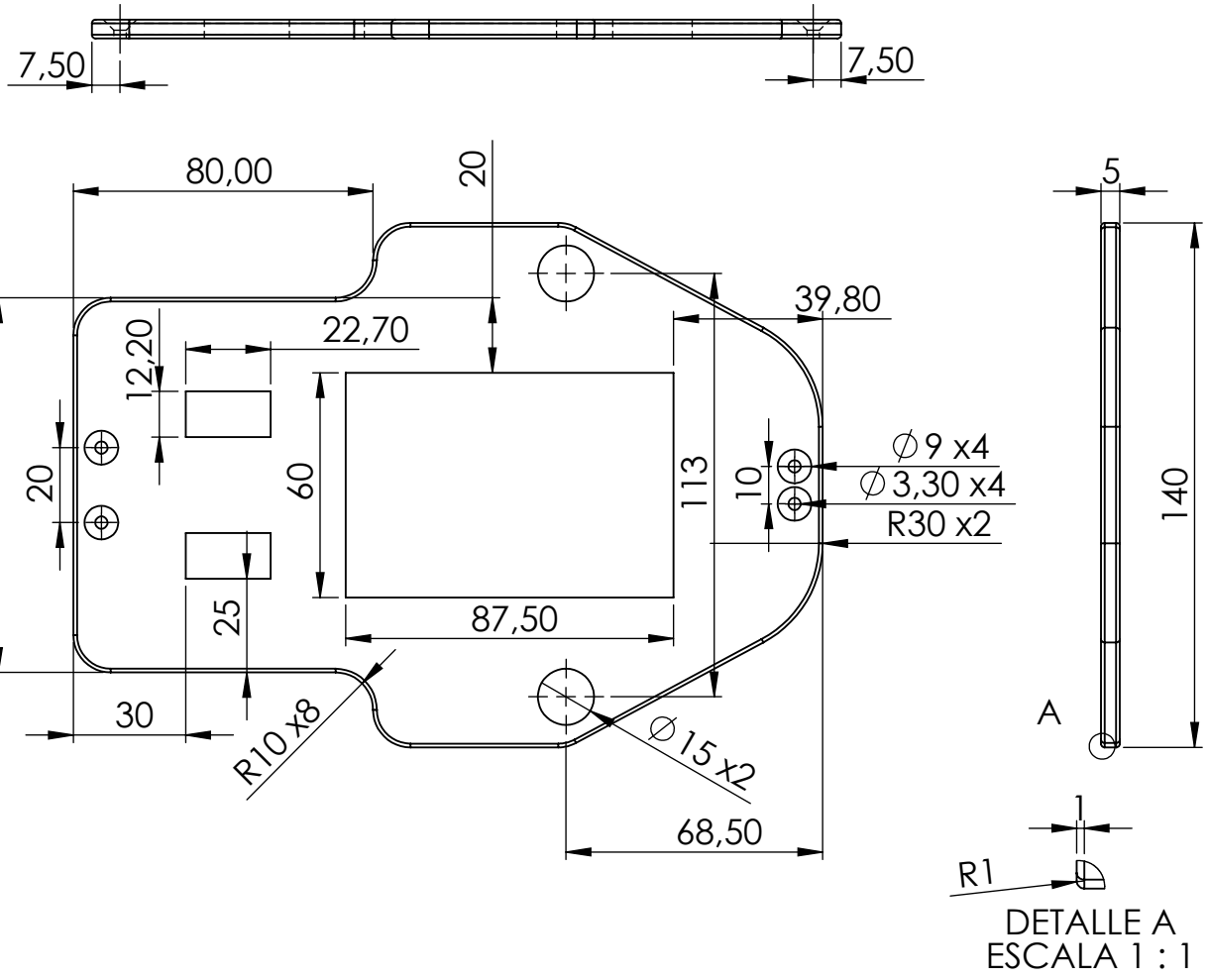




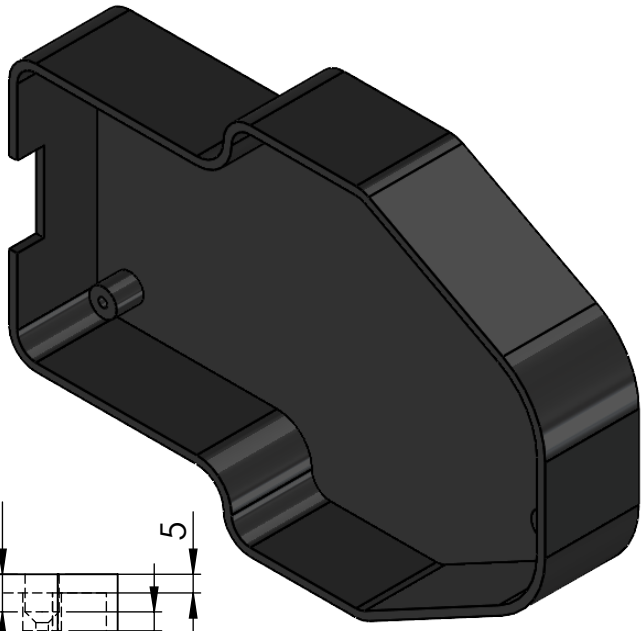

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE | PROYECTO: EFECTOR FINAL TIPO PINZA CON CONTROL DE FUERZA | | | | ESCALA: 1:1 | |
| | PARTE: SOPORTE - SENSOR | | | | | |
| | CÓDIGO: TF-SS14 | | | | TOLERANCIA: ± 0.2 | |
| | MATERIAL: | PLA | DISEÑÓ: | CHAGNA S. | 12/11/2025 | HOJA: 1/1 A4 |
| | TRATAMIENTO: | NINGUNO | DIBUJÓ: | CHAGNA S. | 24/02/2026 | |
| UTN CIME | RECUBRIMIENTO: | NINGUNO | REVISÓ: | TOBAR L. | 25/02/2026 | |
| | CANTIDAD: | 2 | APROBÓ: | TOBAR L. | 25/02/2026 | |

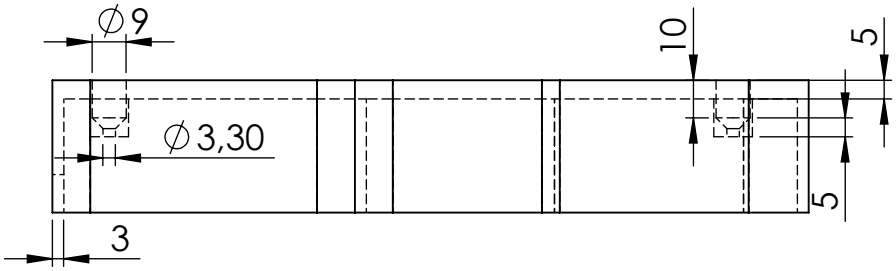


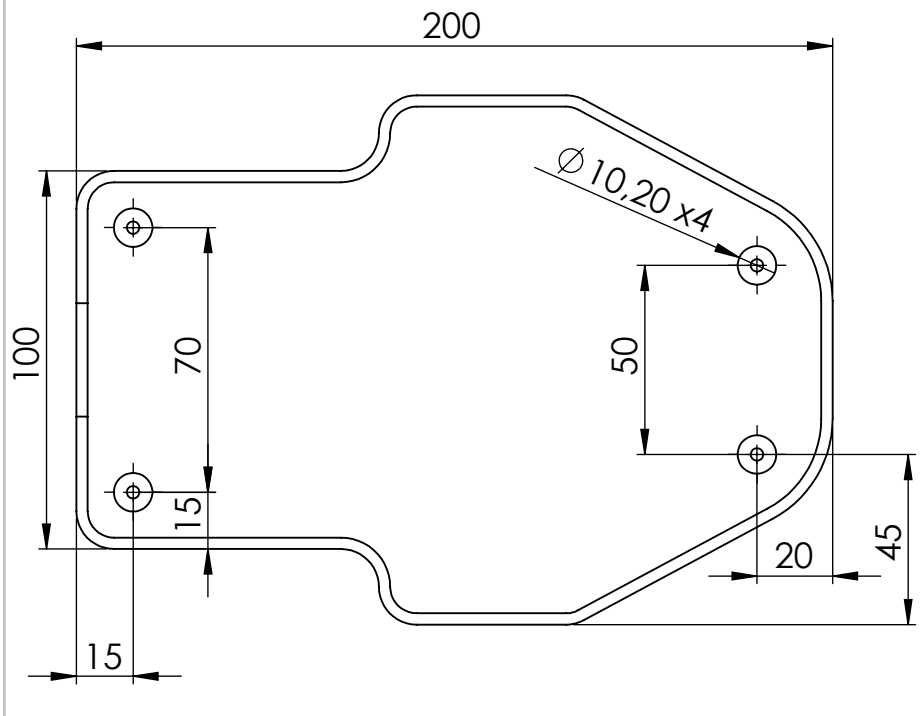


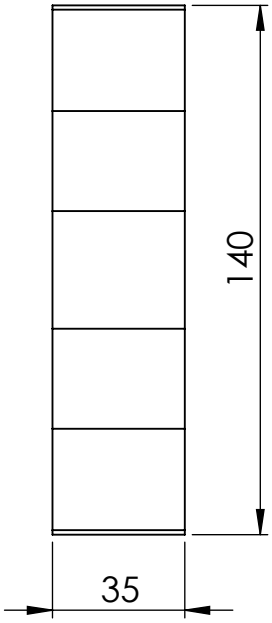

DETALLE A
ESCALA 1 : 1

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| UTN | CIME | PROYECTO: EFECTOR FINAL TIPO PINZA CON CONTROL DE FUERZA | | | | ESCALA: 1:2 | |
| | | PARTE: TAPA INTERMEDIA | | | | | |
| | | CÓDIGO: TF-TI3 | | | | TOLERANCIA: ± 0.2 | |
| | | MATERIAL: | PLA | DISEÑÓ: | CHAGNA S. | 12/11/2025 | HOJA: 1/1 A4 |
| | | TRATAMIENTO: | NINGUNO | DIBUJÓ: | CHAGNA S. | 24/02/2026 | |
| | | RECUBRIMIENTO: | NINGUNO | REVISÓ: | TOBAR L. | 25/02/2026 | |
| | | CANTIDAD: | 1 | APROBÓ: | TOBAR L. | 25/02/2026 | |

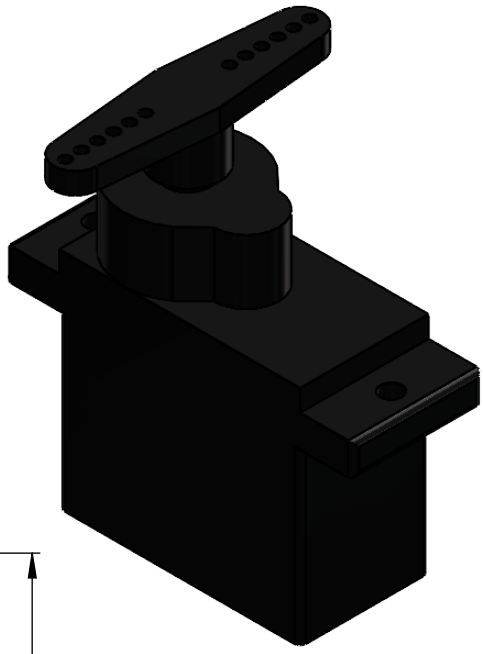


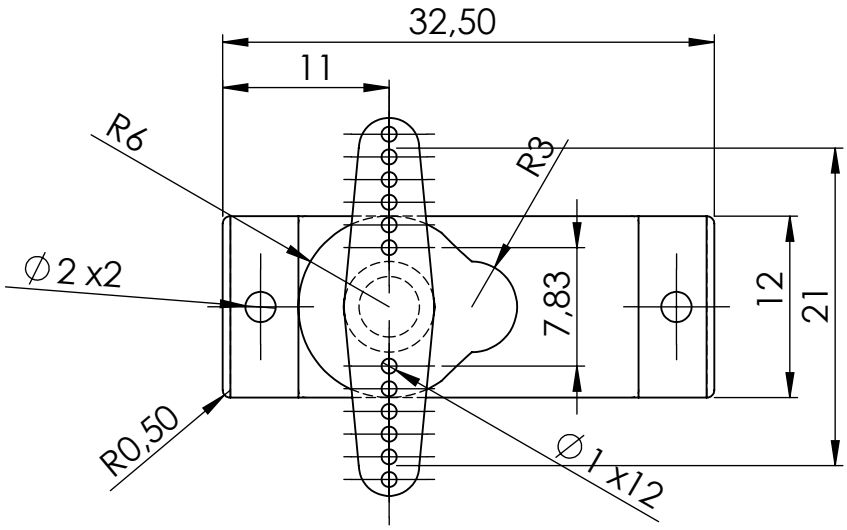


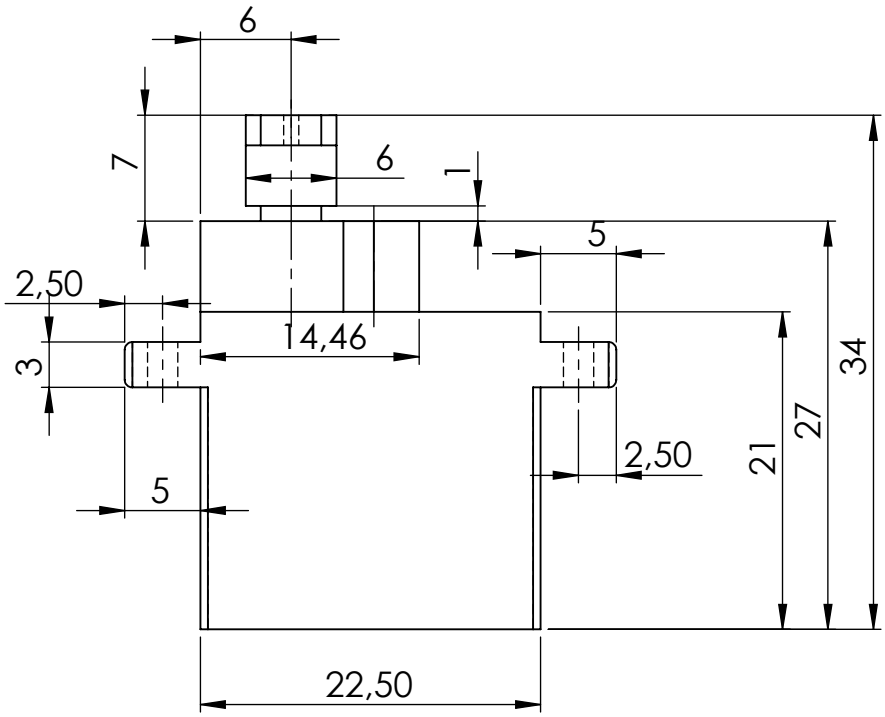




| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE – UTN – IBARRA - ECUADOR | | PROYECTO: EFECTOR FINAL TIPO PINZA CON CONTROL DE FUERZA | | | ESCALA: 1:2 | |
| | | PARTE: TAPA FINAL | | | | |
| | | CÓDIGO: TF-TF2 | | | TOLERANCIA: ± 0.2 | |
| | | MATERIAL: | PLA | DISEÑÓ: CHAGNA S. | 12/11/2025 | HOJA: 1/1 A4 |
| | | TRATAMIENTO: | NINGUNO | DIBUJÓ: CHAGNA S. | 24/02/2026 | |
| UTN | CIME | RECUBRIMIENTO: | NINGUNO | REVISÓ: TOBAR L. | 25/02/2026 | |
| | | CANTIDAD: | 1 | APROBÓ: TOBAR L. | 25/02/2026 | |






| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| UTN | CIME | PROYECTO: EFECTOR FINAL TIPO PINZA CON CONTROL DE FUERZA | | | | ESCALA: 2:1 |
| | | PARTE: SERVOMOTOR MG90S | | | | |
| | | CÓDIGO: TF-SM15 | | | | TOLERANCIA: ± 0.2 |
| | | MATERIAL: | ABS - METAL | DISEÑÓ: | CHAGNA S. | 12/11/2025 |
| | | TRATAMIENTO: | NINGUNO | DIBUJÓ: | CHAGNA S. | 24/02/2026 |
| | | RECUBRIMIENTO: | NINGUNO | REVISÓ: | TOBAR L. | 25/02/2026 |
| | | CANTIDAD: | 2 | APROBÓ: | TOBAR L. | 25/02/2026 |

HOJA: 1/1 A4