



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE POSTGRADO

UTN
IBARRA - ECUADOR | Facultad de
Posgrado

MAESTRÍA EN INGENIERÍA MECATRÓNICA

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA LA RECOLECCIÓN DE FRESAS
MEDIANTE UNA PINZA AGARRE FLEXIBLE”**

Proyecto del Trabajo de Titulación previo a la obtención del Título de Magíster en
Ingeniería Mecatrónica

AUTOR: Ing. Robert Santiago Morillo Mejía

DIRECTOR: Ing. Marco Antonio Ciaccia Sortino, PhD

IBARRA - ECUADOR

2024



CERTIFICACIÓN DE DIRECTOR DE TESIS

Como director del trabajo de investigación con el tema: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA LA RECOLECCIÓN DE FRESAS MEDIANTE UNA PINZA AGARRE FLEXIBLE”**, trabajo que fue realizado por Robert Santiago Morillo Mejía, previo a la obtención del título de Magister en mecatrónica mención procesos industriales, doy fe de que el trabajo mencionado cumple con los requisitos y méritos suficientes para ser apoyado públicamente en los tribunales para ser seleccionado oportunamente.

Ibarra, 25 de noviembre 2022.

Es todo lo que puedo certificar

Ing. Marco Antonio Ciaccia Sortino, PhD

C.C.: 1756778252

Director de Tesis



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

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			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1002383402		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Robert Santiago Morillo Mejia		
DIRECCIÓN:	Álamos y Rio Chimbo		
EMAIL:	rsmorillom@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0994937778

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTO-TIPO PARA LA RECOLECCIÓN DE FRESAS MEDIANTE UNA PINZA AGARRE FLEXIBLE”
AUTOR:	Robert Santiago Morillo Mejia
FECHA:	25/11/2022
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Magíster en Mecatrónica Mención Procesos Industriales
ASESOR / DIRECTOR:	Ing. Marco Antonio Ciaccia Sortino, PhD. MSc.

CONSTANCIAS:

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se 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 se 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 23 días del mes de febrero de 2024

EL AUTOR:


Ing. Robert Santiago Morillo Mejía



Facultad de
Posgrado

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: POSGRADO - UTN

Fecha: Ibarra, 25 de noviembre de 2022

Robert Santiago Morillo Mejía: "IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA LA RECOLECCIÓN DE FRESAS MEDIANTE UNA PINZA AGARRE FLEXIBLE" / GRADO MAGISTER EN MECATRÓNICA MENCIÓN PROCESOS INDUSTRIALES.

DIRECTOR: Ing. Marco Antonio Ciaccia Sortino, PhD. MSc.

El objetivo general de esta tesis fue: Implementar un sistema de agarre flexible para un sistema de cosecha automático de fresas adaptado a las características de cultivo de la región norte del país.

Entre los objetivos específicos se encuentran: Identificar los diferentes tipos de sistemas de cosecha para la verificación de recolección de fresas.

Analizar los diferentes tipos de dispositivos para el agarre de frutos delicados.

Diseñar el dispositivo de agarre bajo los requerimientos establecidos para la cosecha de fresas según las condiciones en la región norte de Ecuador.

Implementar el sistema de agarre para la recolección de fresas maduras seleccionadas


Ing. Marco Antonio Ciaccia Sortino, PhD.MSc.

DIRECTOR


Ing. Robert Santiago Morillo Mejía

DEDICATORIA

Dedico este trabajo con humildad y gratitud a Dios, quien me a dado la fortaleza, la sabiduría y la perseverancia para completar la tesis. Agradezco a su guía divina y su bendición constante a lo largo del viaje académico

Dedico este trabajo a Martin y a mi familia, por su amor incondicional y apoyo constante a lo largo de esta travesía. Sin ustedes no habría sido posible.

A todos los que participaron en mi investigación. Su generosidad al compartir su tiempo y conocimiento fue esencial para este estudio.

Santiago

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a mi director de Tesis, el Profesor Marco Antonio Ciaccia Sortino, por su valiosa orientación y apoyo a lo largo de este proceso.

También deseo extender mi gratitud a Sofia. Su amor incondicional y apoyo inquebrantable han sido mi mayor fuente de fortaleza a lo largo de este arduo camino académico. Gracias por creer en mí, por estar a mi lado en los momentos difíciles.

Santiago

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DE DIRECTOR DE TESIS	ii
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN	iii
REGISTRO BIBLIOGRÁFICO	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTOS.....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT	xvi
CAPÍTULO I.....	17
1. EL PROBLEMA	17
1.1 Planteamiento del problema.....	17
1.2 . Antecedentes	18
1.3 Objetivos de la investigación.....	21
1.4 . Justificación	22
1.5 Alcance	22
CAPÍTULO II.....	24
2. MARCO REFERENCIAL	24
2.1. Características de la Fresa Albión.....	24
2.2. Índice de madurez para fresa	24
2.2.1. Categoría I.....	25
2.2.2. Categoría II.....	25
2.2.3. Categoría III	25
2.2.4. Categoría IV	26
2.3. Caracterización de la fresa.....	26
2.4. Proceso de cosecha	26
2.4.1. Clasificación de procesos de recolección.....	27

2.4.2. Clasificación de los métodos de recolección.....	28
2.4.3. Patrones de cosecha.....	28
2.5. Pinzas de manipulación robótica o elementos terminales	29
2.6. Clasificación de pinzas robóticas o actuadores finales.....	30
2.7. Robótica blanda	31
2.8. Pinzas blandas.....	32
2.9. Materiales usados en la robótica blanda	33
2.10. Materiales utilizados en la impresora 3D	34
2.10.1. Tipos de filamentos para impresora 3D	34
2.11. Sistema de control.....	35
2.11.1. Control lazo abierto.....	35
2.11.2. Control lazo cerrado	36
2.12. Arduino	36
2.12.1. Tipos de Arduino.....	37
2.13. Sensor.....	39
2.13.1. Sensor de distancia	40
2.14. Transmisión piñón-engrane	42
2.14.1. Transmisión piñón cremallera.....	42
2.15. Parámetros de diseño conceptuales.....	43
2.16. Marco Legal.....	43
CAPÍTULO III	45
3. MARCO METODOLÓGICO	45
3.1. Introducción	45
3.2. Parámetros de diseño	45
3.3. Etapa de prueba 1	45
3.4. Etapa de prueba 2.....	46
3.5. Desarrollo del sistema.....	47
3.6. Pinza de agarre flexible.....	48
Diseño de la pinza de agarre flexible	48
Longitud de la pinza.....	49
Selección de material de la pinza de agarre flexible	49
Mecanismo de sujeción pinza de agarre.....	51
3.7. Pinza de Corte.....	51
Diseño de la pinza de corte	51
Fuerza necesaria para el corte de fresas	52

Selección del material para pinza de corte	53
Dimensiones de los eslabones de la pinza de corte	54
Selección de los motores de accionamiento para el prototipo de pinza de agarre flexible.....	55
3.8. Selección de materiales electrónicos	55
Sensor.....	56
Selección de la fuente de alimentación para las pinzas.....	57
Selección del cableado	57
3.9. Diagrama de flujo	57
3.10. Descripción del área de estudio / Grupo de Estudio	58
3.11. Enfoque y tipo de investigación.....	59
3.12. Procedimientos (Diseño de la investigación).....	60
Fase 1: Investigación.....	60
Fase 2: Investigación de los diferentes tipos de pinzas de agarre flexible.	61
Fase 3: Diseño, simulación y ensamble.	62
Demostración el funcionamiento del prototipo.....	62
Implementación del prototipo	63
3.13. Consideraciones ambientales y bioéticas.....	63
CAPÍTULO IV	64
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	64
4.1. Pinza de agarre flexible.....	64
4.1.1. Fuerza necesaria para atrapar la fresa	64
4.1.2. Cálculo del mecanismo piñón cremallera	64
4.1.3. Selección del motor de la pinza de agarre flexible.....	66
4.1.4. Partes del actuador blando.....	66
4.1.5. Análisis del mecanismo sin carga	67
4.1.6. Análisis del mecanismo con carga	68
4.2. Pinza de corte.....	70
4.2.1. Sistema de transmisión engrane piñón	70
4.1.3. Selección del motor de agarre flexible.....	73
4.2.3. Esfuerzo cortante máximo de las cuchillas.	75
4.2.4. Cálculo del espesor de la cuchilla.	75
4.3. Resultados de funcionamiento de la pinza de agarre flexible.....	76
4.5. Resultados del funcionamiento de la pinza de corte.....	78
4.6. Prueba de funcionamiento de las pinzas en la cosecha.....	80

4.7. Presupuesto del proyecto	80
4.7.1 Costo de recursos humanos	80
4.7.2. Costo de materiales	81
4.7.3. Costo de impresión en 3D	81
CAPÍTULO V	83
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	83
5.1. Conclusiones	83
5.2. Recomendaciones	84
REFERENCIAS	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Camas de cultivo de fresa Albión, en la microempresa La Selecta.	23
Figura 2: Índice de madurez.	24
Figura 3: Categorización de las fresas.	25
Figura 4: Métodos de recolección automática.	28
Figura 5: Patrones básicos de recolección de fruta.	29
Figura 6: Pinza robótica recoge medusas en aguas profundas.	32
Figura 7: Clasificación de las tecnologías de agarre.	33
Figura 8: Esquema general de sistema de control lazo abierto.	36
Figura 9: Esquema del sistema de lazo cerrado.	36
Figura 10: Arduino Uno.	38
Figura 11: Arduino Nano.	38
Figura 12: Clasificación de sensores según la variable física.	39
Figura 13: Sensor ultrasónico HC- SR04.	40
Figura 14: Sensor laser VL53LOX.	41
Figura 15: Transmisión piñón- engrane.	42
Figura 16: Cremallera impulsada por piñón.	43
Figura 17: Actuador neumático.	46
Figura 18: Comparación entre estrella de mar y pinza flexible.	47
Figura 19: Brazo de pinza de agarre flexible.	47
Figura 20: Matriz de Pugh.	48
Figura 21: Requerimientos para el diseño de la pinza de agarre flexible.	48
Figura 22: Dimensión de la pinza blanda.	49
Figura 23: Partes de la pinza blanda.	50
Figura 24: Esquema de funcionamiento de la piza de agarre.	51

Figura 25: Requerimientos para el diseño de la pinza de corte.	52
Figura 26: Pinza paralela de corte.	52
Figura 27: Práctica de corte de la fresa.....	53
Figura 28: Eslabón de la pinza de corte.....	54
Figura 29: Flujograma del sistema de control de la pinza.	58
Figura 30: Localización de la microempresa La Selecta.	59
Figura 31: Mecanismos de pinza flexible.....	67
Figura 32: Esfuerzos principales.	67
Figura 33: Deformación Total.	68
Figura 34: Pinza cosechando fresa.	69
Figura 35: Esfuerzos principales.	69
Figura 36: Deformación Total.	70
Figura 37: Dimensiones de pinza de corte.....	74
Figura 38: Parte de la cuchilla67	
Figura 39: Cosecha de la fresa.....	77
Figura 40. Pruebas de sujeción de la fresa con la pinza de agarre flexible.	78
Figura 41. Pruebas de corte del tallo con la pinza de corte.	79
Figura 42: Dispositivo de agarre y corte ensamblado 80	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Caracterización de la fresa.	26
Tabla 2: Clasificación de las técnicas de corte.	29
Tabla 3: Clasificación según su energía.	31
Tabla 4: Especificaciones técnicas Arduino uno.	37
Tabla 5: Especificaciones técnicas Arduino nano.	38
Tabla 6: Especificaciones Técnicas.	40
Tabla 7: Especificaciones técnicas VL53LOX.	41
Tabla 8: Propiedades mecánicas del filamento TPU.	50
Tabla 9: Diámetro de los tallos y fuerza de corte de las fresas.	53
Tabla 10: Propiedades mecánicas.	54
Tabla 11: Criterios de selección del motor:	55
Tabla 12: Requerimientos del sensor	56
Tabla 15: Pruebas de funcionamiento de la pinza de agarre flexible.	77
Tabla 16: Pruebas de funcionamiento de la pinza de corte.	79
Tabla 17: Costos de recursos humanos.	81
Tabla 18: Costo de materiales.	81
Tabla 19: Precio de impresión 3D.	82
Tabla 20: Costo total del proyecto.	82

RESUMEN

Se desarrolló un prototipo de pinza de agarre flexible para la recolección automatizada de fresas en una plantación en Imbabura, Ecuador. La investigación de campo se realizó para comprender las condiciones de cultivo, las dimensiones de las camas, la variedad de fresas y los métodos de cosecha. Se descubrió que la recolección se hacía manualmente con canastas, lo que forzaba a los recolectores a mantener una postura incómoda durante largas horas, causándoles molestias en la zona lumbar. Para abordar este problema, se exploraron diversas opciones de pinzas para manipular las frutas delicadas sin dañarlas. Inicialmente, se utilizó una pinza neumática flexible con una sujeción de elastómero. Sin embargo, este enfoque enfrentó problemas de fugas de aire y dificultades para obtener aire limpio en entornos agrícolas polvorientos. Luego, se optó por una pinza eléctrica inspirada en la geometría de una estrella de mar. Esta pinza se fabricó mediante impresión 3D con material TPU y operaba mediante un hilo de nylon que pasaba a través de sus brazos y se conectaba a una cremallera controlada por un servomotor. La pinza flexible podía sujetar las fresas sin dañarlas y liberarlas con precisión mediante una pinza robótica que cortaba los tallos. Las pruebas de funcionamiento se llevaron a cabo en la plantación y demostraron la eficacia del prototipo. La pinza de agarre flexible y la pinza de corte pudieron sujetar y cortar las fresas de manera efectiva sin presentar fallas. En conclusión, este proyecto desarrolló un prototipo de pinza de agarre flexible para mejorar la recolección de fresas en condiciones agrícolas. Este dispositivo automatizado tenía el potencial de reducir la fatiga y las molestias físicas de los recolectores, al tiempo que mejoraba la eficiencia en la cosecha de fresas.

Palabras clave: camas, flexible, TPU, pinza paralela

ABSTRACT

A prototype flexible gripper clamp was developed for automated strawberry harvesting in a plantation in Imbabura, Ecuador. Field research was conducted to understand the growing conditions, platforms dimensions, strawberry variety, and harvesting methods. It was found that picking was done manually with baskets, which forced pickers to maintain an uncomfortable posture for long hours, causing discomfort in the lower back. To address this problem, various gripper options were explored to handle delicate fruits without damaging them. Initially, a flexible pneumatic gripper with an elastomer grip was used. However, this approach faced problems with air leakage and difficulties in obtaining clean air in dusty agricultural environments. Then, an electric gripper inspired by the geometry of a starfish was chosen. This gripper was manufactured by 3D printing with TPU material and operated by a nylon thread passing through its arms and connected to a servomotor-controlled zipper. The flexible gripper could hold the burs without damaging them and release them with precision using a robotic gripper that cut the stems. Operational tests were carried out in the plantation and demonstrated the effectiveness of the prototype. The flexible gripper and cutting gripper were able to hold and cut the burs effectively without failure.

In conclusion, this project developed a prototype flexible gripper clamp to improve strawberry picking under agricultural conditions. This automated device had the potential to reduce picker fatigue and physical discomfort while improving strawberry harvesting efficiency.

Key words: platforms, flexible, TPU, parallel gripper.

CAPÍTULO I

1. EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

El campo de la agricultura abarca gran cantidad de productos de exportación para el mercado nacional e internacional, es así como la fresa permite una amplia oportunidad de exportación al agricultor ecuatoriano. Es atractiva por su color, sabor, tamaño y posee muchas bondades alimenticias, vitamínicas, medicinales, y su gran variedad de preparación en jugos, bebidas y mermeladas.

El cultivo de fresas se realiza en zonas que tienen un clima con temperaturas entre 15 °C y 20 °C, con variedades de cultivo en Ecuador como: diamante, Albión y Monterrey. Las plantas de estas frutas son rastreras y se cultivan a nivel mundial, menos en África y Oceanía Tustón (2013).

Según Parra (2018) la variedad Monterrey presenta un potencial rendimiento de 81.000 kg/ha en temporada agrícola de 9 meses, mientras que la variedad Albión posee un rendimiento de 75.000 kg/ha en la misma temporada. Por otro lado, en cuanto a rendimiento de estas mismas variedades a nivel local, se está manejando un nivel aproximado de 138.406,71 kg/ha en un ciclo de 18 meses de alta producción.

Con respecto al proceso de cosecha, en Ecuador los agricultores realizan este proceso de manera manual. La recolección se realiza con baldes o canastas que se encuentran ubicados en la cintura o brazos del trabajador y en otros casos a nivel del piso. Es una actividad ardua que demanda muchas horas de trabajo en extensas plantaciones, que mantienen al trabajador en una posición de flexión durante largas jornadas, ocupando una postura de alto riesgo con movimientos repetitivos. Aproximadamente un 83 % de los jornaleros sienten molestias en la zona lumbar o presentan hernias discales debido a la extensa jornada laboral en estas posiciones no ergonómicas (Cayán *et al.*, 2015).

En Europa, por el contrario, es común el empleo de sistemas automatizados en el cosechado de fresas, los cuales permiten detectar la fruta madura, recolectarla, seleccionarla por tamaños y finalmente empacarla por lotes, todo en un mismo sistema, sin estropear la fruta durante el agarre. Este proceso permite eliminar enfermedades ocupacionales de los trabajadores, además de permitir el incremento en la producción y un manejo adecuado de la fruta, evitando su contaminación y daño superficial por contacto.

Por todo lo antes expuesto, en este trabajo se desarrollará un prototipo de un sistema automatizado de agarre flexible, que permita recolectar la fresa madura sin dañarla, ya que los sistemas flexibles se caracterizan por ajustar su rigidez de funcionamiento y son capaces de manipular objetos delicados hasta levantar cargas pesadas.

La fresa recolectada pasará previamente por una etapa de selección que será diseñada en otro trabajo de grado, el cual proporcionará las coordenadas de ubicación de la fruta que reúne los estándares de madurez adecuados. Ambos trabajos representan dos de las etapas de una propuesta de equipo de cosechado automatizado adaptado a las condiciones de cultivo en Ecuador, que puede ser desarrollada completamente a futuro.

1.2 . Antecedentes

Basado en la recopilación de información de varias fuentes bibliográficas relacionadas con mecatrónica, agronomía y entrevistas a personas inmersas en el ámbito de recolección de productos orgánicos se proporciona una herramienta valiosa para solventar la investigación.

Naranjo y Tello (2017) desarrollaron una pinza flexible basada en robótica blanda para clasificar objetos, ya que las pinzas tradicionales tienen muchas restricciones, inconvenientes al momento de manipular objetos irregulares, blandos y generan gastos

excesivos en la adquisición de estas en el mercado. Con el análisis realizado comprobaron que la presión sometida a la pinza para sujetar los objetos es correcta y evidenciaron que la elección del material fue la adecuada. En la investigación fueron usados actuadores blandos, ya que tienen mejores características, entre ellas su morfología FPN, por medio de software y con los parámetros de diseño bien establecidos, obtuvieron un óptimo diseño de actuador blando. El análisis dinámico del sujetador comprueba que el material seleccionado fue el correcto y también resiste la presión necesaria para sujetar objetos y que se muevan de la forma requerida.

Gómez (2014) diseñaron un actuador robótico blando construido a base de elastómero que tiene la capacidad de adaptarse a la forma de los objetos que son irregulares y manipularlos, ya que ejerce una fuerza de 1 N sobre los objetos. Recomiendan realizar los actuadores con elementos de mejor calidad, imprimir el molde con un buen material con una impresora exacta para la fabricación de la pinza, lo cual sirve para que no existan imperfecciones y además proporciona una cámara de vacío, para que no quede con burbujas el material. Se deben tomar en cuenta aspectos importantes, para evitar que el actuador tenga puntos débiles que puede producir fugas.

Se propuso realizar una pinza blanda que sea estimulada por un cable que puede expresar un movimiento ágil, las pinzas se encuentran fabricadas de algunos materiales blandos. La robótica necesita una nueva generación de sensores y actuadores que puedan ayudar a la manipulación de forma suave para objetos desconocidos. Las pinzas actuales se fabrican de materiales elásticos y se accionan mediante un cable flexible o un fluido para mantener un equilibrio en el movimiento. Esta área de la robótica necesita más investigación para tener un mejor control y poseer una mejor manipulación de objetos desconocidos, así las pinzas puedan recoger y colocar numerosos objetos delicados de forma precisa y con destreza para disminuir el tiempo de trabajo en una tarea Honji y

Tahara (2020).

Silva y Gallardo (2018) con la ayuda de la impresión 3D diseñaron pinzas adaptativas blandas, con un grosor de 1,5 mm, que sostenía objetos de diferentes dimensiones. El objetivo de la investigación fue manipular cosas de forma irregular con la ayuda de visión artificial, sensores y la estructura mecánica de un robot que proveía una sujeción blanda. Se encontró la aplicación de esta investigación en la recolección de frutas, hortalizas; además, manipulaba especies frágiles en arrecifes con el fin de ayudar a las personas con movilidad reducida a la sujeción de objetos. Concluyeron así que es posible manipular objetos de hasta 13 cm de diámetro con una altura de 9 cm y un peso de hasta 780 gr con la implementación de una banda de púas de silicona que permitió el agarre mucho más eficiente e independientemente del material que compone los objetos cotidianos.

En los últimos años, los robots flexibles son cada vez más utilizados debido a los materiales blandos que se encuentran contruidos, tal es el caso del robot Pneunet, el cual está inspirado en sistemas biológicos que se puede adaptar al entorno, construido con una mezcla de elastómera altamente elástico, deformable, blando, robusto y ligero. Su diseño lo realizaron mediante el software SOLIDWORKS y el molde para la construcción se hizo mediante una impresora 3D, el cual tiene una geometría de prisma rectangular y una cámara neumática donde ingresa el aire y realiza el movimiento, el cual no presenta deformación radial ni de torsión, este diseño realizó con la finalidad de poder efectuar más fácil un análisis cinemático y dinámico. Para futuras investigaciones desean medir la posición del robot suave, a través de visión artificial, tener un análisis cinemático y dinámico (Gudiño *et al.*, 2019).

Nasab *et al.* (2017) desarrollaron una pinza de tres dedos neumáticos que contienen ligamentos programables que cambian de rigidez cuando se activa la corriente

eléctrica. La pinza se encuentra construida por materiales blandos que son: elastómero y termoplástico. Los ligamentos cambian de estado dependiendo del elemento que se va a manipular. Depende de los ligamentos activados y la pinza dobla, tuerce o suelta los objetos; los dedos están compuestos de tres falanges PDMS: dos articulaciones Eco Flex, razón por la cual la es pinza inspirada en la naturaleza, como las lenguas de lagarto, brazos de pulpo y trompas de elefante puede trabajar con una amplia gama de movimientos. Las pinzas blandas ofrecen enormes ventajas sobre las pinzas rígidas, para las cuales la fuerza y el control son prioridad. Se puede ajustar la rigidez del elastómero; también, en este sistema de tres dedos se logra girar además de agarrar y soltar, logrando hacer el ciclo de manipulación en 15 segundos. La pinza puede agarrar elementos de geometría irregular; asimismo tiene una presión baja de entrada de 70 kPa y su funcionamiento es por medio de una central de presión de aire que ingresa dentro de los dedos, reduciendo la complejidad del hardware al generar manipulaciones.

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Implementar un sistema de agarre flexible para un sistema de cosecha automático de fresas adaptado a las características de cultivo de la región norte del país.

1.3.2 Objetivos específicos

- Identificar los diferentes tipos de sistemas de cosecha para la verificación de recolección de fresas.
- Analizar los diferentes tipos de dispositivos para el agarre de frutos delicados.
- Diseñar el dispositivo de agarre bajo los requerimientos establecidos para la cosecha de fresas según las condiciones en la región norte de Ecuador.
- Implementar el sistema de agarre para la recolección de fresas maduras seleccionadas en una etapa previa de detección.

1.4 . Justificación

La presente investigación plantea generar un prototipo flexible de agarre de fresas debido a que es una fruta delicada, que demanda cuidado al momento de implementar un prototipo de agarre mecánico. El dispositivo beneficiará a los agricultores ecuatorianos durante la etapa de recolección, evitando a los agricultores el riesgo ergonómico de distintas enfermedades que enfrentan por la implementación de un proceso manual.

Este prototipo además permitirá a productores de grandes empresas, visualizar un aumento económico por reducción de horas de cosecha y un proceso sostenible debido a la reducción de enfermedades ocupacionales.

Hay que tener en cuenta que el plan todo una vida decreta en “Impulsar la productividad y competitividad para el crecimiento económico sostenible de manera redistributiva y solidaria” (SENPLADES, 2017, pág 80) además de su política: “Promover la investigación, la formación, la capacitación, el desarrollo y la transferencia tecnológica, la innovación y el emprendimiento, la protección de la propiedad intelectual, para impulsar el cambio de la matriz productiva mediante la vinculación entre el sector público, productivo y las universidades (SENPLADES, 2017, pág 83). Por consiguiente, dentro de la matriz productiva y dentro del desarrollo del plan toda una vida, el proyecto de investigación se enfoca a la generación y mejoramiento del personal que labora en el ámbito de recolección de fresas, disminuyendo los riesgos laborales de ergonomía y reformando a nivel nacional dicha aplicabilidad para apaciguar los riesgos y conseguir mejores resultados empresariales en optimización de tiempos.

1.5 Alcance

El prototipo tendrá una pinza de agarre flexible el mismo que estará destinado para la cosecha de fresas Albión, las cuales no serán maltratadas al proceder a la recolección de esta fruta, ya que la pinza no efectuará movimientos fuertes al momento

de proceder a la cosecha de las fresas. Es importante mencionar que en el lugar donde se va a implementar el prototipo de recolección, se cultiva la fresa Albión, la cual es apetecible en el mercado, debido a que son grandes y de mejor calidad; además, antes de proceder a la recolección del presente fruto se toma en cuenta su color, tamaño, firmeza y forma de diamante, motivo por el cual se plantea este proyecto para aportar al agricultor en la cosecha. Este fruto tiene un peso promedio de 32 g/fruto (Medina *et al.*, 2016) y se consideran las frutas ubicadas en los laterales de las camas de cultivo, las cuales se encuentran a una altura de 40 cm y ancho de 40 cm (Figura 1) con el fin de garantizar comodidad y rapidez al momento de la cosecha y garantizar el desarrollo del prototipo de pinza para su corte.

Figura 1:

Camas de cultivo de fresa Albión, en la microempresa La Selecta.



CAPÍTULO II

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. Características de la Fresa Albión

Es una de las principales variedades cultivadas en Ecuador, debido a las características que se detallan a continuación:

- Alta resistencia a condiciones meteorológicas desfavorables y enfermedades
- Fruto de una variedad que mezcla las cualidades buenas de diamante y aroma
- Planta de tamaño intermedio.
- Rendimiento de 75 Ton/Ha.

2.2. Índice de madurez para fresa

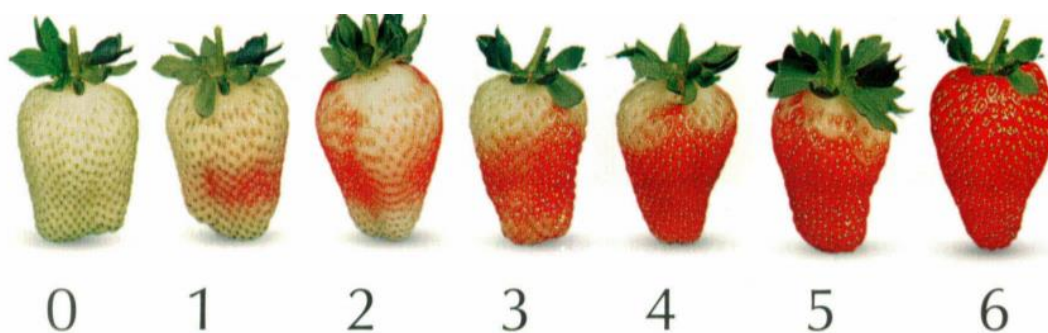
En la Figura 2:

Índice de madurez.

se indica las etapas de madurez considerados para la fresa, lo cual es muy importante para su posterior almacenamiento y comercialización. Este método se basa en una estimación subjetiva de la gente, para determinar la madurez de la fresa.

Figura 2:

Índice de madurez.



Nota. Tomado de Caudillo (2018)

Guerra (2021) indica que las categorías de la fresa Albión son desde categoría I a la categoría 4, las cuales se describen a continuación.

Figura 3:

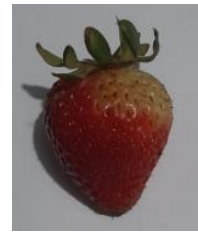
Categorización de las fresas: a) categoría I, b) categoría II y c) categoría III



a)



b)



c)

2.2.1. Categoría I

Es la más reconocida, presenta mejor calidad del producto y debe cumplir ciertos requisitos fijados, tal como se indica en la

Figura 3a), de los cuales se aceptan las siguientes características:

- Peso mayor a 30 gramos
- Debe estar entre 4 y 5 el índice de madurez
- Pequeña deformación causada por mala polinización
- Ligeras deformaciones de forma.
- Cicatrices superficiales causados por insectos, esto no debe exceder el 10 % del fruto.

2.2.2. Categoría II

Es la fresa que no se clasifica en la categoría anterior, la cual se presenta en la

Figura 3b), y que cumple con los siguientes requisitos:

Peso entre 20 y 30 gramos.

Manchas causadas por deficiencia de vitaminas en el suelo, este defecto no debe exceder el 20% del fruto

Pequeña deformación causada por mala polinización se admite el 10%.

2.2.3. Categoría III

Es la fresa que no se clasifica en la categoría anterior, la cual se presenta en la

Figura 3c) y que cumple con los siguientes requisitos:

- Peso entre 20 y 15 gramos (tamaño mediano).

- Índice de madurez entre 3 y 5.
- Fruta con deformaciones.
- Los defectos anteriormente mencionados no debe exeder el 25% del fruto.

2.2.4. Categoría IV

Es la fresa de tamaño pequeño con las siguientes características:

- Peso hasta 15 gramos.
- Índice de madurez entre 3 y 5.
- Tiene un nivel de madurez correcto.

2.3. Caracterización de la fresa

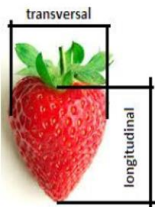
La Tabla 1 indica los pesos y las medidas longitudinales y transversales de las diferentes categorías de la fresa tipo Albión.

2.4. Proceso de cosecha

Según Navas *et al.* (2021) la recolección de alimentos es una de las actividades en que los agricultores se toman más tiempo, ya que involucran la manipulación de frutas y verduras. En la recolección manual el ser humano agarra los frutos y los clasifica ya sea directa o con una herramienta. Es así que los intentos de emular los movimientos de la mano en la cosecha han dado como resultado numerosos efectores finales que se puede clasificar en dos grupos: pinzas paralelas y las pinzas de varios dedos.

Tabla 1:

Caracterización de la fresa.

	Categoría	Media Peso (gr)	Longitudinal (mm)	Transversal (mm)
			\geq	\geq
	Categoría I	30	53	30
	Categoría II	25	47	27
	Categoría III	20	39	24
	Categoría IV	15	32	22

Las pinzas paralelas es una estructura mecánica simple que se puede controlar de una forma simple por lo que tiene menos actuadores, pero tiene poca adaptabilidad a los

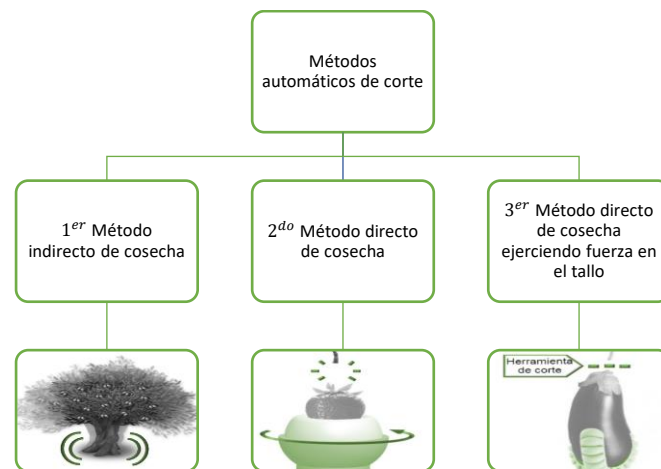
elementos que sujeta. La pinza de varios dedos tiene los beneficios de contar con más grados de libertad lo que se puede asemejar a una mano humana, se construyen con materiales blandos y deformables no poseen complejos mecanismos para el movimiento, su costo es bajo y estructuras de control más simples. Por estos avances de la robótica blanda actual es idóneo para ayudar a la agricultura.

2.4.1. Clasificación de procesos de recolección

Navas *et al.* (2021) afirma que la clasificación de los métodos de cosecha autónoma respecto a la tecnología, se encuentra tres grupos: los de recolección indirecta, recolección directa y la recolección con fuerza directa en el tallo.

- **Recolección indirecta:** método que consiste en un movimiento mecánico de agitar las extremidades como: sacudir las ramas, sacudir el tronco, sacudir el dosel.
- **Recolección directa:** método que se utiliza donde no pueden ser agitadas las plantas, sino que requieren la aplicación de la fuerza sobre el fruto o el tallo y se reconocen como patrones de recolección (ejemplo: torcer dobla, girar) para hacer que las frutas se desprendan del tallo.
- **Recolección con fuerza directa en el tallo:** método que se utiliza para ciertos frutos que requieren movimientos mecánicos directos u otros tipos de corte, que se aplica directamente a un tallo que es duro y se necesita cortar.

En la Figura 4 se presenta un esquema de los métodos de recolección automática utilizados.

Figura 4.*Métodos de recolección automática*

Nota. Tomado de Navas *et al.* (2021).

2.4.2. Clasificación de los métodos de recolección

La técnica de cosecha se selecciona dependiendo del cultivo. Los factores que pueden influir en la elección del método son: el tamaño y la forma de la planta, la fragilidad de la planta, la madurez de la fruta, el estándar de calidad y evitar dañar la fruta Navas *et al.*(2021).

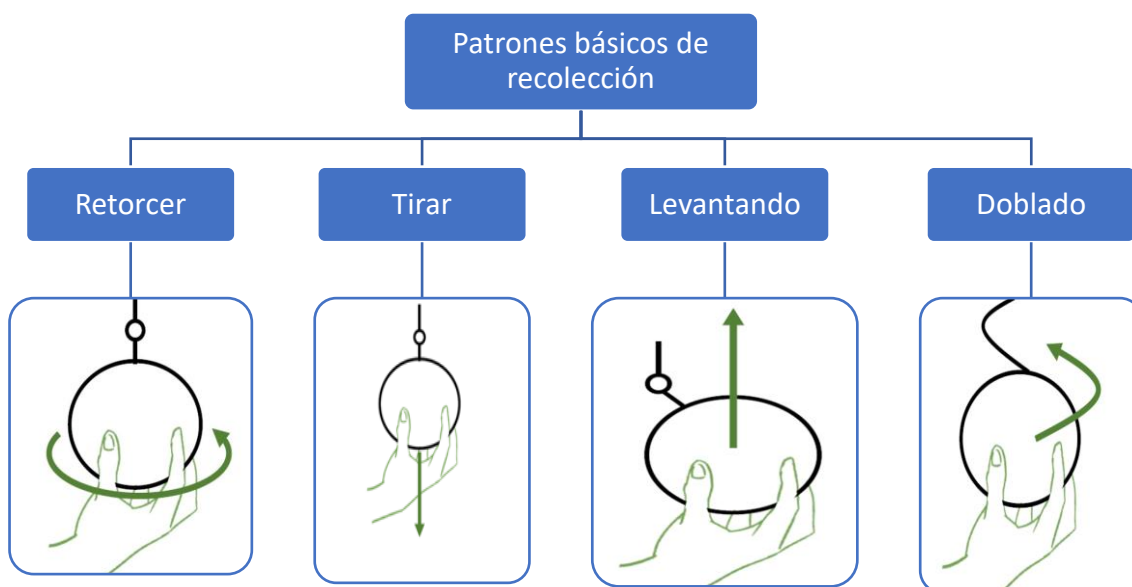
2.4.3. Patrones de cosecha

Es la descomposición de los movimientos de la mano humana, utilizados en la cosecha para poder imitarlos con pinzas robóticas. Estos patrones incluyen los siguientes movimientos: doblar, levantar, torcer, tirar o una combinación de estos. Estos movimientos se presentan en el esquema de la Figura 5.

Dados los patrones descritos anteriormente en la Figura 5, los cuales comprenden contacto directo con la fruta, la automatización de los métodos de recolección permite la introducción de una pinza blanda permitiendo una manipulación más delicada que garantice la integridad de la fruta.

Figura 5:

Patrones básicos de recolección de fruta.



Nota. Tomado de Navas *et al.* (2021).

La Figura 5 presenta varias técnicas de corte para separar el fruto de la planta. La técnica que utiliza la fuerza de flexión no realiza ningún corte con herramientas.

Tabla 2:

Clasificación de las técnicas de corte.

Escribe	Características de flexión	Características de corte
Rotación de péndulo	X	-
Empujando algún objeto en el péndulo	X	-
Cuchillo, hoja de un solo lado	-	X
Tijeras	-	X
Sierra	-	X
Hilo caliente	-	X

Nota. Tomado de Navas *et al.* (2021).

2.5. Pinzas de manipulación robótica o elementos terminales.

Las pinzas o manipuladores son actuadores que permiten recoger y sostener objetos. También, sus habilidades permiten combinar fuerza y destreza, ya que la pinza

es una herramienta que se diseña para una aplicación específica, la cual permite la sujeción de un fruto. Además, en la actualidad existen varios tipos de pinzas que se utilizan para sostener objetos de diferentes dimensiones, pues se necesita un agarre capaz de adaptarse a cualquier objeto.

2.6. Clasificación de pinzas robóticas o actuadores finales.

No resulta fácil seleccionar un actuador neumático ya que pueden ejecutar diferentes tipos de movimientos. En la industria la pinza es sumamente importante para la manipulación y traslado de piezas, debido a que se basa en movimiento lineal o angular para realizar la sujeción de objetos.

Las pinzas hidráulicas aportan soluciones industriales, aumenta la resistencia en las operaciones, sufre menos fricción en la manipulación de materiales, se utiliza en aplicaciones de grandes esfuerzos que puede llegar hasta 700 Pa. Para su funcionamiento y control se utiliza una bomba de aceite, válvulas y PLCs.

Las pinzas eléctricas conllevan un menor coste, ahorra más energía, es fácil de controlar los movimientos por medio de motores eléctricos, obtiene más flexibilidad y precisión. Para la industria ofrecen soluciones de automatización innovadoras que garantizan mejor destreza en la manipulación de las piezas, requiere menos coste de mantenimiento y menor complejidad del mismo.

La selección de una pinza robótica es una parte importante, esto depende del tipo de aplicación y el aspecto económico, los cuales garantizan el éxito. Las pinzas o manipuladores son actuadores que permiten recoger y sostener objetos, sus habilidades permiten combinar fuerza y destreza. Este actuador es una herramienta que se diseña para una aplicación específica. En la actualidad existen varios tipos de pinzas que se utilizan para sostener objetos de diferentes dimensiones, pues se necesita un agarre capaz de adaptarse a cualquier objeto.

En la Tabla 3 se presenta una clasificación de los actuadores según el tipo de

energía que utilizan.

Tabla 3:

Clasificación según su energía.

Tipo de pinzas	Características	Aplicaciones
Neumática	Se encuentran de 2 y 3 dedos, bajo costo, bastante fuerza de agarre, funcionamiento en espacios reducidos, rápido tiempo de respuesta	Transporte y manipulación de pinzas en CNC Industrias biotecnológicas Sistemas automatizados Máquinas para industrias
Hidráulicas	Accionamiento por fluidos Mas fuerza que las pinzas neumáticas Requiere bastante mantenimiento	Servicio pesado Aplicaciones médicas Ascensores o montacargas hidráulico
Eléctricas	La misma potencia que las pinzas hidráulicas Alta velocidad agarre ligero o moderado Fuerza y recorrido ajustables Mejor control que todas Alto costo	Aplicaciones robóticas industrial Piezas ferromagnéticas

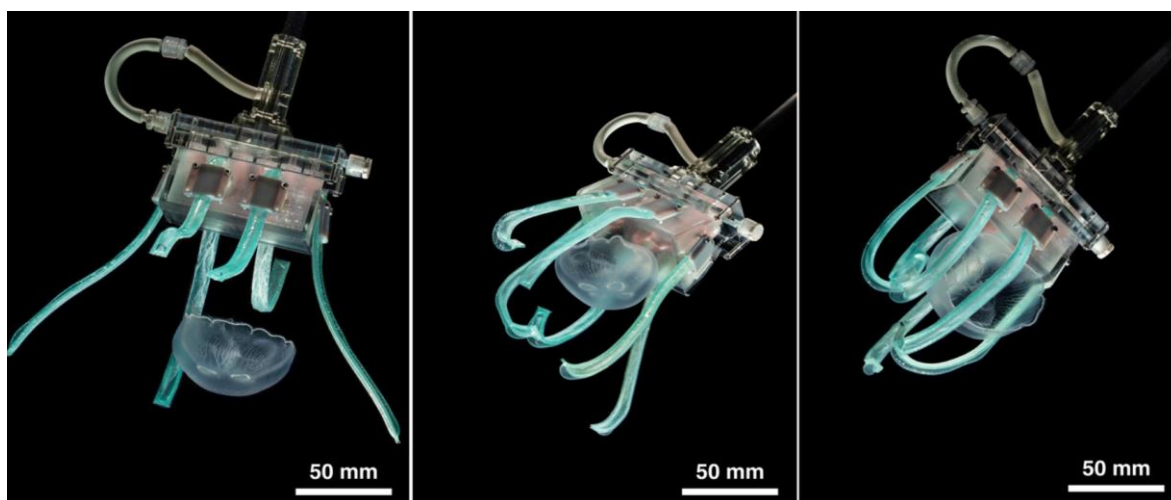
2.7. Robótica blanda

Las nuevas aplicaciones de robots reclaman versatilidad, adaptabilidad, eficiencia y seguridad; quedando en claro que el enfoque de cuerpos rígidos tiene limitaciones significativas y las actuales generaciones de robots no pueden estar constituidas de estructuras rígidas, es por eso por lo que nace la necesidad de *soft robotic* también conocidos como *robots blandos*, los mismos que cuenta con características constitutivas no convencionales.

Este tipo de robots tiene una morfología basada en las extremidades de animales, además el diseño y las propiedades de los materiales tiene gran capacidad de deformación elástica, principalmente líquidos, geles, polímeros blandos entre otros.

Figura 6:

Pinza robótica recoge medusas en aguas profundas.



Nota. Tomado de vistaalmar.es. (2020).

Los robots suaves están inspirados en seres biológicos, ya que tienen estructuras suaves y deformables, ligeras y robustas. La flexibilidad y elasticidad de los robots suaves son inspirados por el tejido de los organismos vivos y son ideales para una variedad de funciones, como moverse y adaptarse por terrenos accidentados, entrar en pequeños espacios y cambiar su forma exterior Márquez *et al.* (2019).

Es claro que la naturaleza es un sistema inmensamente complicado y a la vez increíblemente perfecto (el ser humano es una prueba de ello). Por esta razón, las investigaciones de los robots suaves están inspiradas en las especies biológicas, que aprovechan las ventajas de la estructura física y anatómica de los seres vivos. Actualmente existen muchas investigaciones relacionadas con la robótica biológica, robots suaves, materiales blandos y flexibles; todo lo anterior está inspirado en los modelos biológicos para su imitación Márquez *et al.* (2019).

2.8. Pinzas blandas

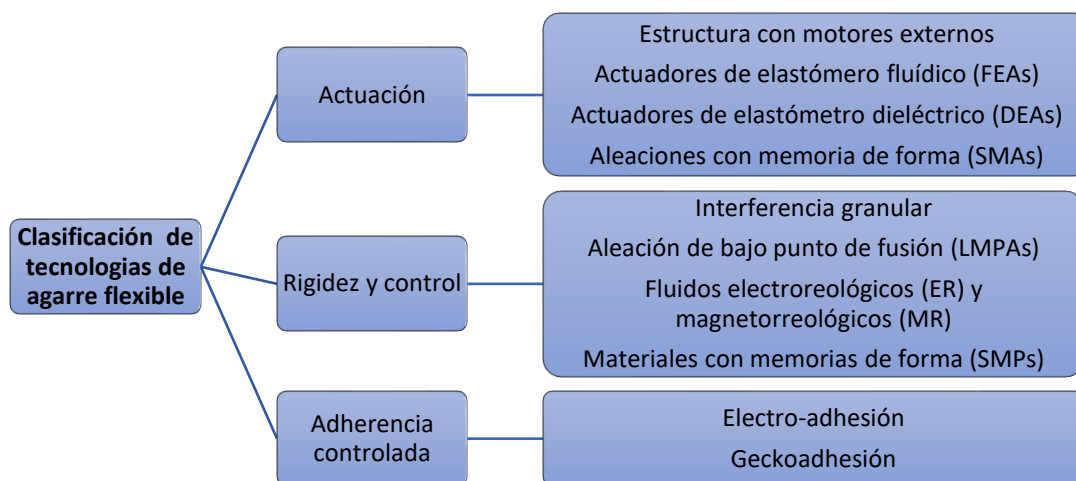
Las pinzas blandas tienen la capacidad de interactuar en un sistema no estructurado, son aquellos actuadores que se construyen de materiales blandos y flexibles,

que permite la adaptabilidad y robustez al objeto sujetado, esto lo realiza con facilidad al hacer frente a tareas dinámicas.

Estas pinzas son una de las mejores opciones para la recolección de frutas, se adaptan con delicadeza y firmeza para poder manipular los frutos sin maltratar y perder la calidad obteniendo de esta manera la mejor rentabilidad. Se clasifican en tres categorías, las cuales se presentan en la Figura 7.

Figura 7:

Clasificación de las tecnologías de agarre.



Nota. Tomado de Navas *et al.* (2021).

2.9. Materiales usados en la robótica blanda

Los materiales con los que se fabrican los robots blandos deben tener las siguientes características: flexibilidad y deben ser livianos y elásticos para que sean resistentes a golpes. Los actuadores tienen algunas propiedades mecánicas interesantes que se usan para determinadas aplicaciones, las cuales no se puede llevar a cabo con actuadores de materiales rígidos.

Los materiales que se utilizan incluyen los hidrogeles, polímeros, elastómeros en base de silicona y la impresión 3D en TPU. El último material se considera un material favorable debido a que se eliminan las etapas del moldeo y el diseño de complejas cámaras internas de las redes neumáticas, facilitando el proceso de fabricación, el material

UTP es un material comercial.

2.10. Materiales utilizados en la impresora 3D

El filamento para confeccionar piezas en 3D mediante una impresora de extrusión, la cual regula la temperatura mientras se funde el material, generalmente es de plástico, con apariencia de cuerda y se almacena enrollado.

2.10.1. Tipos de filamentos para impresora 3D

➤ ABS (Acrlonitrilo Butadieno Estireno)

Es un material plástico que tiene características, como son: resistencia mecánica a tracción, resistencia al impacto, resistencia a elementos químicos y abrasión, facilidad para el proceso, por lo cual es usado en ingeniería. El material es muy comercial ya que es barato. La temperatura de la base debe estar entre 100 y 110 °C y la temperatura del extrusor entre 220 – 260 °C. Se debe tener en cuenta que si la temperatura del filamento es baja puede dejar hueco entre capas de la impresión.

➤ PLA (Ácido Poliláctico)

Es un material biodegradable derivado del ácido poliláctico inodoro, el filamento no requiere la cama caliente, se realiza en base a productos ricos en almidón como los cereales, arvejas, patatas, remolacha entre otros. Por lo tanto, este material no emite gases tóxicos, tiene mayor velocidad de impresión, tiene una densidad baja, el polímero no llega a decolorarse. Tiene una temperatura de extrusión entre 180 y 200 °C.

➤ PETG

Es un copolímero que aparece tras la unión de PET (tereftalato de polietileno) con glicol. Es uno de los filamentos más usados, y una buena opción para imprimir elementos sometidas a altos esfuerzos, también se utiliza para realizar envases, por ser un material permeable, presenta baja absorción de la humedad lo que ayuda a conservar productos alimenticios. No se deforma cuando se enfría, es fácil de imprimir y debe tener una

temperatura entre 210 y 250 °C y la base una temperatura de 55 °C.

➤ ***TPU (Poliuretano termoplástico)***

Es un filamento elástico de tipo de elastómero cuyas principales características son su flexibilidad y durabilidad, resiste temperaturas de hasta 80 °C, resiste a la abrasión y productos químicos, puede llegar a elongar hasta 55 %. Es fácil de imprimir, es ideal para extrusoras de accionamiento directo, ideal para prótesis ortopédicas, zapatos y tapones. La temperatura óptima para imprimir del extrusor y base es de 220-250 °C y 60 °C respectivamente.

➤ ***Fibra de carbono***

Es un material que tiene baja densidad y alta resistencia. La dureza es similar al acero y es ligero como el plástico. Con el pasar del tiempo se ha vuelto más accesible de modo que puede utilizarse en diferentes aplicaciones, y ahora se puede conseguir en filamento fino entre 5-10 μm de diámetro.

Se trata de una fibra sintética y es producida por tres materiales base: rayón, poliacrilonitrilo y resina de petróleo. Este material por su baja densidad, su resistencia a la corrosión y altas temperaturas es usado en diferentes elementos mecánicos. El filamento se funde a una temperatura de extrusor y base de 250 - 280 °C y 80 °C respectivamente.

2.11. Sistema de control

Es un sistema dinámico, se establece por los elementos que influyen para el funcionamiento de una planta, recibe las acciones del medio de modo que garantiza la estabilidad frente a perturbaciones, y dependiendo a estas entradas son las acciones de salida.

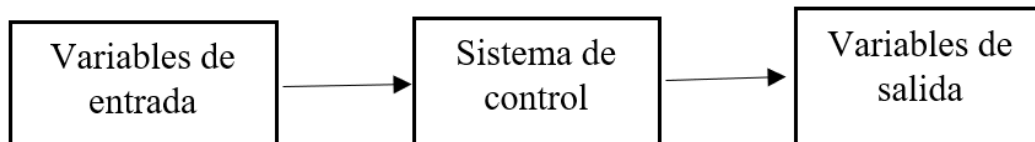
2.11.1. Control lazo abierto

Es el sistemas más económico y sencillo de implementar. Este método de control

es independiente la salida de la entrada, por cada señal de ingresa le corresponde una operación programada anteriormente. La Figura 8 muestra el esquema de un sistema de lazo abierto.

Figura 8:

Esquema general de sistema de control lazo abierto.

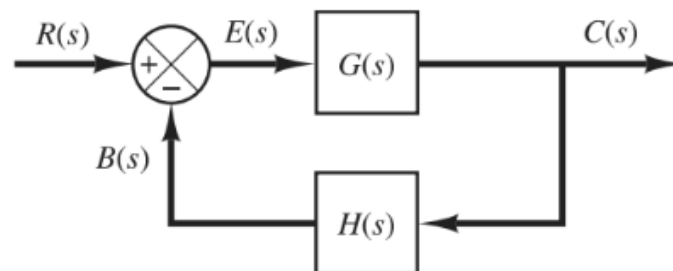


2.11.2. Control lazo cerrado

Se caracteriza por recibir la señal de salida con la de referencia, obteniendo así un error para que la planta actúe reduciendo el mismo y enviando a la salida el valor deseado. La Figura 9 muestra el sistema de control de lazo cerrado.

Figura 9:

Esquema del sistema de lazo cerrado.



Nota. Tomado de Ogata (2010).

2.12. Arduino

Arduino es una plataforma de código abierto, basado en software fácil de usar con placas de circuitos impresos que contiene microcontroladores ATMELE, que cuentan con entradas y salidas digitales. Los dispositivos conectan el mundo físico con el virtual, comunicando sensores, luces, motores y sistemas de comunicación, simplificando la

implementación de proyectos sencillos.

2.12.1. Tipos de Arduino

➤ *Arduino uno*

Es una placa de microcontrolador basado en ATmega328P, de hardware libre.

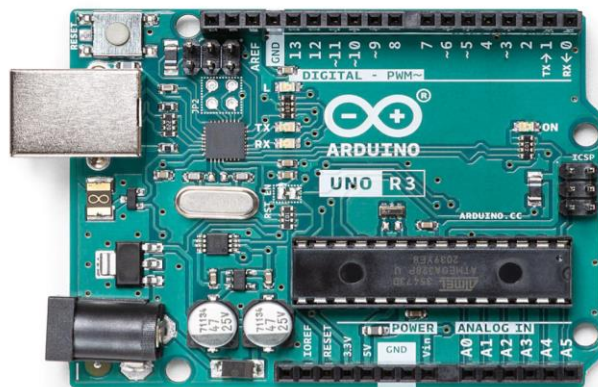
Las principales características se encuentran en la Tabla 4.

Tabla 4:

Especificaciones técnicas Arduino uno.

Nombre	Características
Microcontrolador	ATmega328P
Voltaje de funcionamiento	5 V
Conector USB	USB-B
Fuente de alimentación	Tapón de Barril
Pines I/O digitales	14 (6 de los cuales tiene PWM)
Pines de entradas análogas	6
Corriente DC por cada pin de I/O	40 mA
Corriente DC en el pin de 3.3V	50 mA
Memoria Flash	32 kB (0,5 kB para gestor de arranque).
SRAM:	2 kB
EEPROM	1 kB
Velocidad de reloj	16 MHz
Comunicación	UART, I2C, SPI
Peso	25 g
Ancho	68,6 mm
Longitud	53,4 mm

Nota. Tomado de Arduino (2022).

Figura 10:*Arduino Uno.**Nota.* Tomado de Arduino (2022).

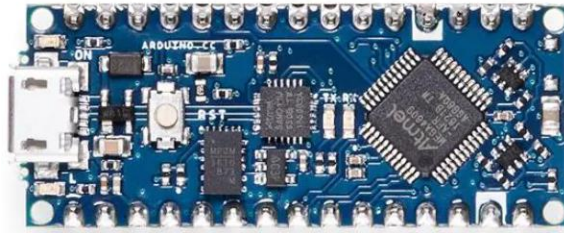
➤ **Arduino nano**

Es una placa pequeña y fácil de usar basado en el microcontrolador ATmega328P, es una versión reducida del Arduino Nano. Se encuentran las características del Arduino nano en la Tabla 5.

Tabla 5:*Especificaciones técnicas Arduino nano.*

Nombre	Características
Microcontrolador	ATmega328
Voltaje de funcionamiento	5 V
Conector USB	USB mini-B
Voltaje de entrada	7-12 V
Pines I/O digitales	14 (6 de los cuales tiene PWM)
Pines de entradas análogas	8
Corriente DC por cada pin de I/O	20 mA
Memoria Flash	16 kB (0,5 kB para gestor de arranque).
SRAM:	1 kB
EEPROM	1 kB
Velocidad de reloj	16 MHz
Comunicación	UART, I2C, SPI
Peso	5 g
Ancho	18 mm
Longitud	45 mm

Nota. Tomado de Arduino (2022)

Figura 11:*Arduino Nano.**Nota.* Tomado de Arduino (2022).**2.13. Sensor**

Es un dispositivo electrónico o mecánico capacitado para medir las variables que pueden ser físicas o químicas, dando valores eléctricos como señal de salida y siendo esta una proporcional al valor medido del medio. Según el tipo de variable física mediada los sensores se pueden clasificar en:

Figura 12:*Clasificación de sensores según la variable física.**Nota.* Tomado de Corona (2014)

2.13.1. Sensor de distancia

En la actualidad los sensores de distancia ayudan a detectar un objeto en diferentes posiciones en línea recta sin tocarlo, siendo aplicadas en la vida cotidiana y en la industria para brindar mayor calidad.

➤ *Sensor ultrasónico HC-SR04*

El sensor es insonoro al momento de funcionar, se encuentra compuesto por un emisor y receptor de ultrasonido, esto nos ayuda a determinar la distancia entre el sensor y el objeto, enviando pulsos y midiendo el tiempo de vuelo que transcurre hasta que vuelva dicho pulso. A pesar de que el transductor es de bajo costo posee una buena precisión de $\pm 3 \text{ mm}$, y un ángulo efectivo de 15° . Los datos técnicos se detallan en la

Tabla 6.

Figura 13:

Sensor ultrasónico HC- SR04.



Nota. Tomado de Morgan (2014)

➤ *Sensor laser VL53LOX*

Este tipo de sensores es capaz de medir de forma muy precisa la distancia entre el objeto y el transductor, ya que funciona con un diminuto laser de 9nm. El sensor posee una sensibilidad de $\pm 1\text{mm}$, la medición va desde 2cm y un ángulo de 25° , no le afecta las condiciones del medio. Las características técnicas se detallan a continuación en la

Tabla 6:

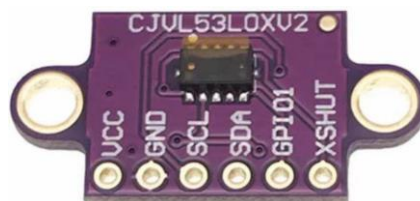
Especificaciones Técnicas.

Nombre	Características
Voltaje de trabajo	5 V
Corriente de trabajo	15 mA
Frecuencia de trabajo	40 Hz
Máxima distancia	4 m
Mínima distancia	2 cm
Dimensiones	45 x 20 x 15 mm
Duración mínima Trigger	10 μ S TTL
Tiempo de espera entre mediciones	20 ms

Nota. Tomado de Morgan (2014).

Figura 14:

Sensor laser VL53LOX.

**Tabla 7:**

Especificaciones técnicas VL53LOX.

Nombre	Características
Voltaje de alimentación	3V a 5V
Corriente de consumo	10 mA – 40 mA
Precisión	+30 mm
Comunicación	I2C 16 bits
Rango de medición	2 cm – 200 cm
Dimensiones	4,4 x 2,4 x 1 mm

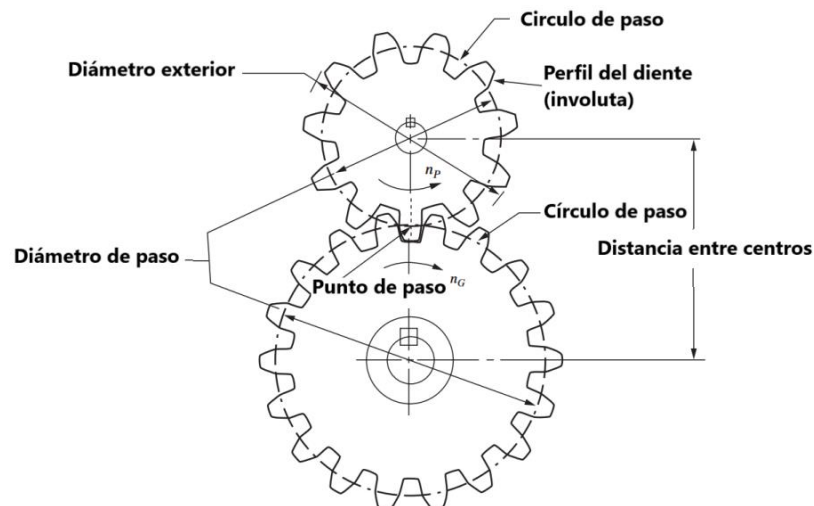
Nota. Tomado de life.augmented (2016)

2.14. Transmisión piñón-engrane

Los engranes pueden transmitir potencia y un movimiento giratorio entre ejes, son ruedas cilíndricas dentadas. Las transmisiones entre engranes provocan un cambio de velocidad de la salida con relación a la entrada. Los tipos de engranes son: rectos, sinfín-cremallera, helicoidales, cónico. Por lo general la rueda es la conductora y el piñón el engrane conducido.

Figura 15:

Transmisión piñón- engrane.



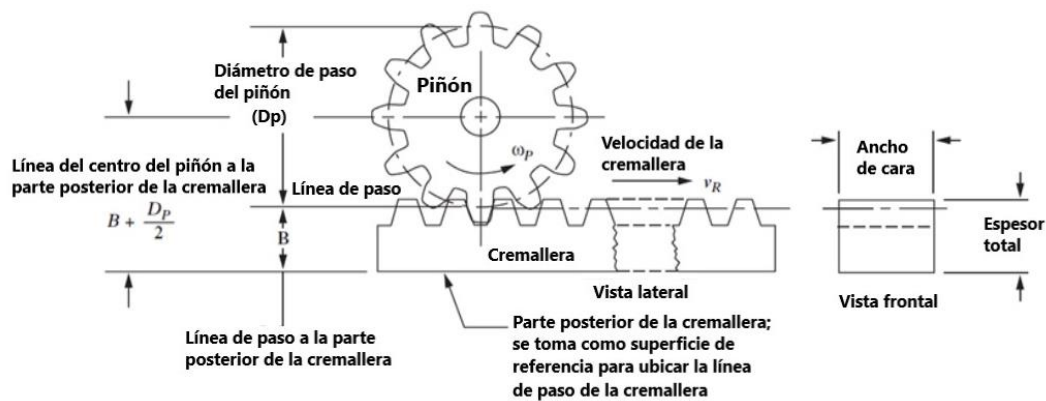
Nota. Tomado de Mott (2006)

2.14.1. Transmisión piñón cremallera.

El mecanismo transforma el movimiento circular en movimiento lineal, consta de dos elementos, una cremallera es un engrane en línea recta sobre el cual gira un piñón. El sistema se asemeja a un engranaje simple, consecuentemente, la cremallera y el piñón tienen el mismo módulo y paso.

Figura 16:

Cremallera impulsada por piñón.



Nota. Tomado de Mott (2006)

2.15. Parámetros de diseño conceptuales

En la actualidad las pinzas robóticas blandas se inspiran en los animales para replicar y adaptar los movimientos que ellos realizan. Son de bastante ayuda en el campo de la industria, debido a que provee nuevas aplicaciones mecatrónicas que garantizan manipular objetos sin sufrir deformaciones; además de que no se utilizan materiales rígidos, y su fabricación son en base a materiales suaves, de morfología simple, que ayuda a la manipulación de los objetos en ambientes dinámicos.

La implementación de un prototipo para la recolección de fresas es de gran importancia para el campo industrial, ya que se basa en la aplicación de una pinza flexible, la cual permite que el prototipo cumpla con las características de no maltratar el fruto, garantice que la fresa no tenga daños y garantizar la calidad del producto para su venta.

2.16. Marco Legal

La realización de una pinza de agarre flexible que facilita la cosecha de las fresas tipo Albión; contribuye a los agricultores en sus largas horas de trabajo de cosecha, y evita una posición poco ergonómica, ocasionando dolores lumbares que deterioran la salud; razón por la cual, está justificado desde el marco legal de la presente investigación,

y está enmarcada en la constitución de la República del Ecuador, en el artículo 33; así mismo en los convenios de la OIT sobre seguridad y salud en el trabajo, Ley Orgánica de Salud.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Introducción

El presente proyecto de investigación considera el diseño con ciertos parámetros que se enfocan en el trabajo que va a realizar la pinza, los movimientos necesarios para cumplir con la tarea propuesta, tipos de actuadores, controladores, materiales de fabricación y los elementos de la pinza.

Los aspectos antes expuestos se deben primero analizar y establecer los materiales de construcción y luego se realiza la selección de la morfología de la pinza flexible. Además, luego de haber seleccionado la tecnología se realiza el diseño mecánico por medio de programación CAD, posteriormente se selecciona el accionamiento eléctrico de la pinza, y finalmente se diseña la pinza de corte de la fresa, detallando las partes mecánicas, eléctricas y de control que garantizan efectividad del proyecto.

3.2. Parámetros de diseño

Para el diseño de la pinza de agarre flexible, se parte de la capacidad requerida con datos tomados en la microempresa La Selecta. Se necesita recoger aproximadamente 200 kg por 5 horas de trabajo cada día, se determina entonces que se recogen 50 kg/hora

Las limitaciones que existen al manejar robots de materiales rígidos son muy grandes al momento de manipular objetos delicados, para ello se requiere implementar pinzas de agarre flexible, que se fabrique de material blando y así solucione la maniobra de objetos en ambientes dinámicos. Además, se requiere implementar un sistema de corte de la fruta que se realice en el tallo, el mismo que trabaje luego de que la pinza agarre a la fresa y proceda al corte.

3.3. Etapa de prueba 1

El primer proceso de selección fue el sistema neumático, en cual se enfocó en una

pinza de agarre flexible, y se tomó en cuenta el modelo robótico de una pinza neumática blanda parecida a los dedos del ser humano, con la finalidad de permitir la sujeción de las fresas. El material empleado para la fabricación de la pinza neumática blanda fue Eco Flex 00-30, el mismo que está constituido por dos cauchos que se mezclan 1A y 1B en igual volumen y son curados a temperatura ambiente. La característica principal de este caucho es: suave, de color blanco, fuerte y muy elástico, el cual permitiría la sujeción de las fresas. Sin embargo, este diseño no pudo ser implementado, debido a varias dificultades técnicas que impedían la correcta sujeción de la fruta, tales como: fugas de aire, el exceso de polvo presente en las plantaciones y la poca autonomía de las fuentes de energía, debido a que se necesita un compresor funcionando todo el tiempo para la sujeción de las fresas, para lo cual se requiere una batería de gran capacidad que dificultad su movilización. La Figura 17 muestra la pinza neumática de agarre flexible realizada.

Figura 17:

Actuador neumático.



3.4. Etapa de prueba 2

El segundo proceso de selección es de sistema eléctrico; el mismo que fue fabricado en materiales blandos (TPU) por medio de la impresora 3D; la pinza de agarre flexible se indica en la Figura 18, es similar a una estrella de mar de cuatro brazos, el cual muestra un cuadrado central que ubica el motor para el movimiento de las extremidades que permiten la sujeción de la fresa en la parte interna. Además, cada brazo está

constituido de ocho pliegues que permiten flexionarse para la aprehensión de la fresa, en función de la longitud promedio del fruto.

Figura 18:

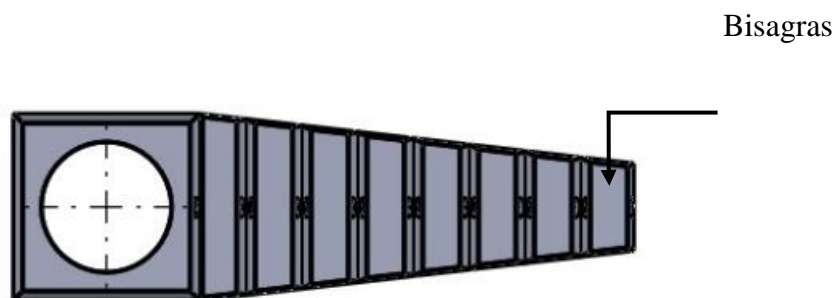
Comparación entre estrella de mar y pinza flexible.



En cada brazo, las bisagras son de forma de prismas trapezoidal, las mismas en las que en su parte interna cruza una cuerda de nylon que genera la tensión del brazo como se indica en la Figura 19; este a su vez es impulsado por un mecanismo que permite un movimiento lineal, permitiendo la elevación de los brazos para así atrapar la fresa y luego proceder al corte.

Figura 19:

Brazo de pinza de agarre flexible.



3.5. Desarrollo del sistema

La matriz de Pugh es una herramienta cuantitativa que permite lograr objetividad en la toma de decisiones de diseño, y se basa en identificar los criterios que se utilizarán para seleccionar la alternativa de diseño que mejor se adapta al

problema. Estos criterios son evaluados y ubicados en filas dentro de una matriz, mientras que en las columnas se especifican los conceptos de diseño que cumplan con las necesidades, tal como se indica en la Figura 20.

Figura 20:

Matriz de Pugh

		Alternativas de diseño			
		A1	A2	A3	A4
Criterios de selección	Cr1				
	Cr2				
	Cr3				
	Cr4				
Total					

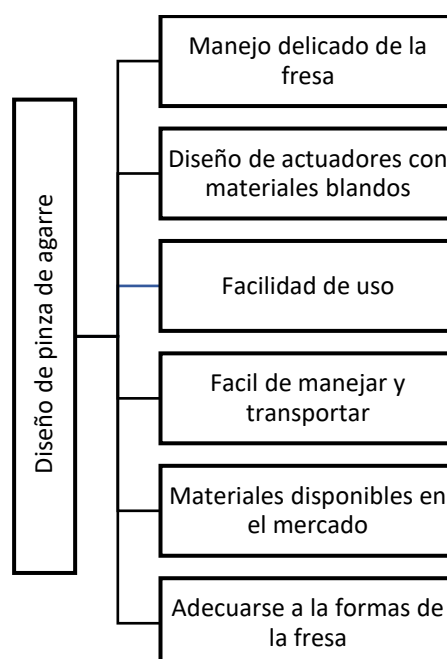
3.6. Pinza de agarre flexible

Diseño de la pinza de agarre flexible

Para realizar el diseño se debe tomar en cuenta los diferentes requisitos, ya que solicita de una permanente validación y comprobación de sus requerimientos, se debe tomar las siguientes consideraciones como se indica en la Figura 21.

Figura 21:

Requerimientos para el diseño de la pinza de agarre flexible



Longitud de la pinza

Para realizar el diseño de la base cuadrangular de la pinza de agarre flexible, se tomó en cuenta la dimensión transversal de la fresa categoría I, como indica la .

Figura 22Figura 22a). Las extremidades se basaron en la geometría, de la que se utilizó un isodecágono regular ya que se asemeja a una circunferencia y permite suavizar el agarre sin maltratar el fruto, la pinza debe ser capaz de envolver a la fresa sin problemas.

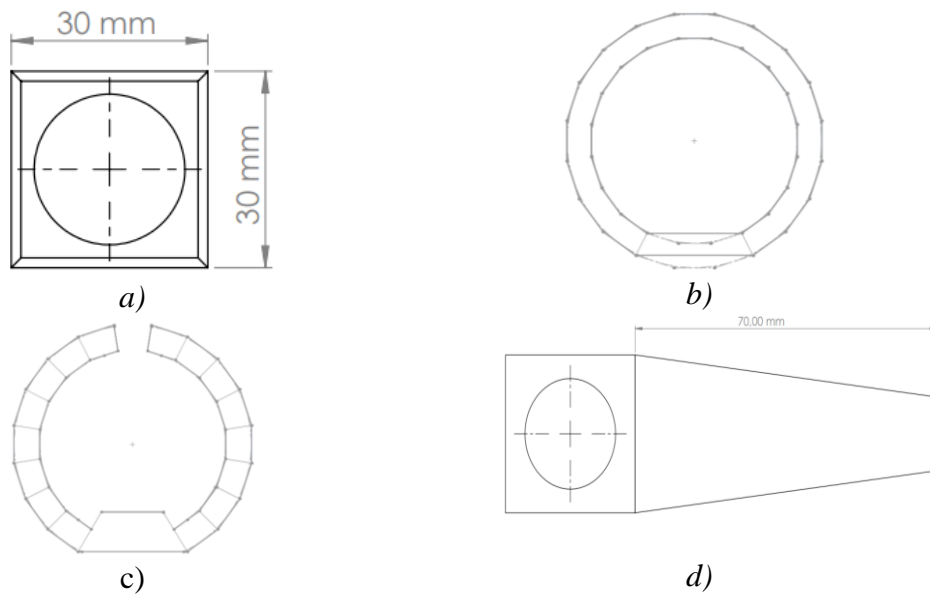
Además, se inserta la base cuadrangular en el polígono, eliminando tres lados, como se indica en la Figura 22.

Figura 22b), por último, se elimina el lado paralelo a la base, quedando de esta manera ocho eslabones por cada lado como se muestra en la Figura 22c). Para la distancia de los brazos se midió el perímetro de la fresa obteniendo una distancia de 70 mm, como se muestra en la Figura 22d), para cerrar la pinza se tensa una cuerda que pasa por la mitad de los cuatro brazos y la base.

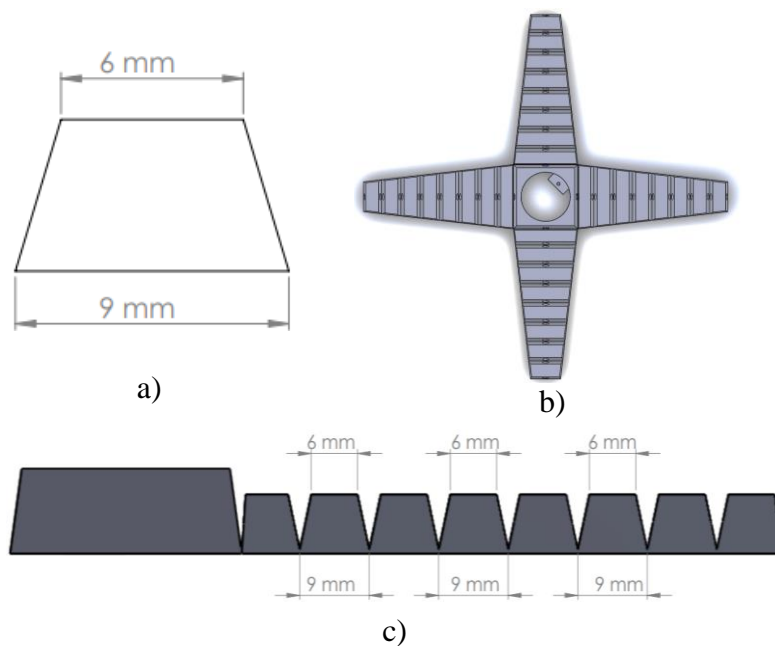
La base que une a los cuatro brazos de 7 cm de largo sirve para envolver a la fresa, cada una de las extremidades se subdividen en 8 prismas trapezoidales, siendo las medidas de la base mayor 9 mm y la base menor de 6 mm, tal como se observa en la Figura 23a). Se encuentran conformados con estas especificaciones para que pueda llegar a girar 180°. En la Figura 23b) se muestra la vista de planta del actuador completo, con los cuatro brazos unidos por medio de la base cuadrangular, y en la Figura 23c) se muestra la parte frontal de un brazo de la pinza blanda con los ocho trapecios unidos.

Selección de material de la pinza de agarre flexible

El material seleccionado para fabricar la pinza fue TPU, cuyas propiedades se presentan en la Tabla 8, el cual es un filamento elástico, resistente, flexible, fácil de manipular, económico, accesible al mercado nacional y permite mejor impresión.

Figura 22:*Dimensión de la pinza blanda*

Nota. a) base cuadrangular de la pinza de agarre flexible, b) base cuadrangular inserta en el polígono, c) eliminación del lado paralelo a la base y d) distancia de los brazos.

Figura 23:*Partes de la pinza blanda*

Nota. a) Base que une a los cuatro brazos de 7 cm, b) vista de planta del actuador completo y c) parte frontal de un brazo de la pinza blanda con los ocho trapecios unidos.

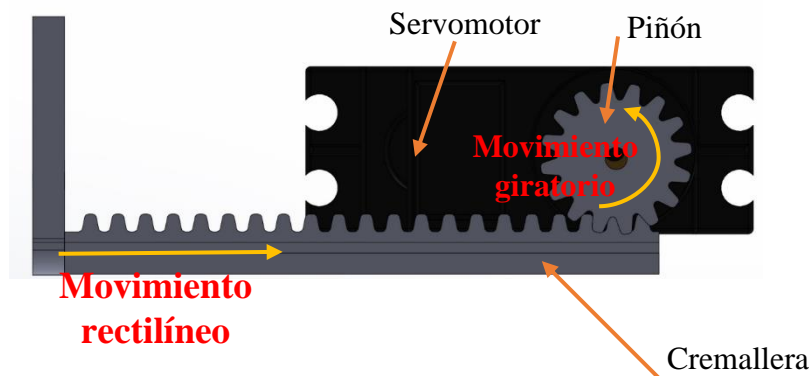
Tabla 8:*Propiedades mecánicas del filamento TPU*

Propiedades mecánicas	Valor
Resistencia a la fluencia	4 MPa
Deformación máxima	55 %

Nota. Tomado de Jabil. (2019)

Mecanismo de sujeción pinza de agarre

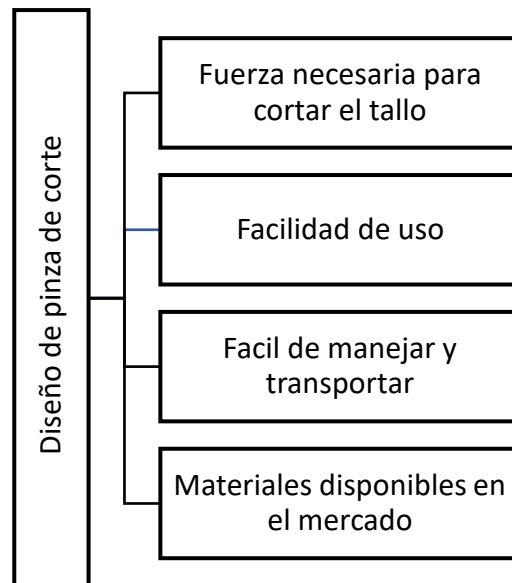
Para sujetar la fresa se necesita cerrar los cuatro brazos por los cuales pasa por la mitad de las extremidades un hilo nylon que ayuda interactuar a la pinza, para ello se implementa un mecanismo de piñón cremallera, el cual tensa el hilo por medio de un servomotor para cerrar la pinza, como se puede observar la Figura 24.

Figura 24:*Esquema de funcionamiento de la pinza de agarre***3.7. Pinza de Corte***Diseño de la pinza de corte*

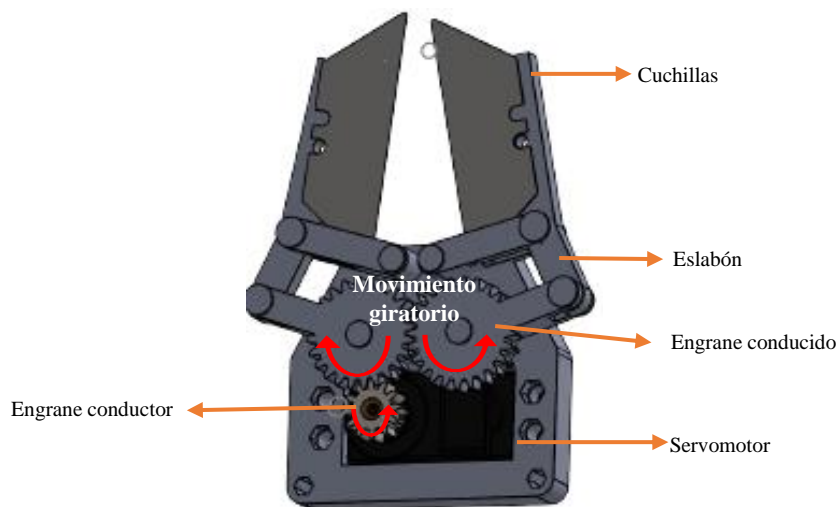
La manera más simple de cosechar la fresa es realizando un corte al tallo, para esto los mecanismos de corte tiene diferentes sistemas mecánicos. Para realizar el diseño se debe tener en cuenta diferentes requisitos que se indican en la Figura 25. Consta de dos dedos en paralelo conectados a un mecanismo de engranajes que son accionados por un motor, el cual controla las posiciones de la pinza, tal como se indica en la Figura 26.

Figura 25:

Requerimientos para el diseño de la pinza de corte.

**Figura 26:**

Pinza paralela de corte



Fuerza necesaria para el corte de fresas

Para medir la fuerza necesaria del corte del tallo, se realizó el experimento que se muestra en la Figura 27. Se usaron varias fresas con tallo, las cuales fueron cosechadas con ayuda de una cuchilla. Para el experimento, el tallo se pone en la balanza y se realiza el corte de forma perpendicular hasta poder cortar el tallo, luego se llega a visualizar en

la pantalla digital la máxima fuerza de desprendimiento. Mientras se realiza el ensayo se registra las diferentes medidas de tallos y la fuerza aplicada en cada corte del tallo de cada fresa (Tabla 9).

Figura 27:

Práctica de corte de la fresa



Tabla 9:

Diámetro de los tallos y fuerza de corte de las fresas

	Diámetro del tallo (mm)	Fuerza en (N)
1	2,60	11,200
2	2,50	10,983
3	2,30	7,747
4	2,80	9,101
5	3,55	13,170
6	3,10	10,983
7	2,40	10,630
8	3,10	14,857
9	3,20	14,238
10	3,20	15,832

En conclusión, se selecciona la fuerza máxima aplicada para realizar el corte con las cuchillas, la cual es $F_c = 15,832 \text{ N}$, entonces se redondea a $F_c = 16 \text{ N}$.

Selección del material para pinza de corte

Considerando que las cuchillas estarán en contacto con el tallo de las fresas, se selecciona el acero inoxidable AISI 304, debido a las siguientes características:

- Alta resistencia a la oxidación
- Durabilidad
- Dureza
- Ductilidad
- Tenacidad
- Higiénico

El material tiene las siguientes propiedades mecánicas que se pueden ver en la Tabla 10.

Tabla 10:

Propiedades mecánicas

Resistencia mecánica	Punto de fluencia	Elongación % Min	Dureza Rockwell
520 N/mm ²	220 N/mm ²	20	249 – 278

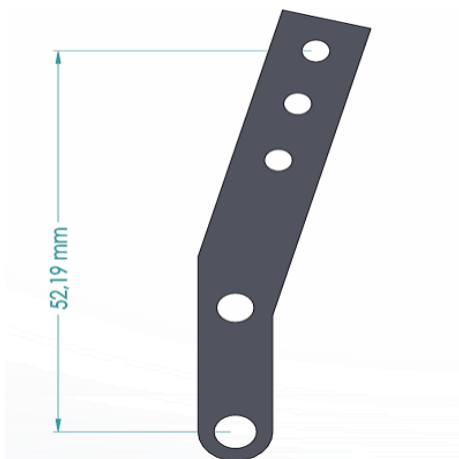
Nota. Tomado de DIPAC (2022)

Dimensiones de los eslabones de la pinza de corte

La longitud de los eslabones de la pinza de corte se seleccionó en función de la posición que posee con relación a la pinza de agarre, tal como se muestra en la Figura 28. Al cerrarse los eslabones para realizar el corte, la pinza de corte debe quedar posicionada sobre la pinza de agarre; si los eslabones fueran muy largos habría interferencia con la pinza de agarre, evitando que ésta atrape el fruto.

Figura 28:

Eslabón de la pinza de corte



Selección de los motores de accionamiento para el prototipo de pinza de agarre flexible

Para la selección del motor de la pinza de corte se tomó en cuenta los requerimientos de potencia del sistema a implementar, y el uso de un motor de corriente continua que pueda controlar la posición del eje de 0 a 180°. La Tabla 11 indica los criterios de selección del motor con su respectiva ponderación, la cual va desde el 1 siendo la más baja y 5 la más alta.

Tabla 11:

Criterios de selección del motor

Criterio	Servomotor DC	Motor paso a paso
Disponibilidad del mercado	4	2
Costo	5	2
Peso	4	2
Torque	3	5
Corriente de funcionamiento	4	3
Potencia	3	2
Precisión	4	4
Total	27	20

De acuerdo con la Tabla 11 el motor más adecuado es un servomotor DC, siendo los criterios con mayor influencia es el costo, peso y la potencia.

3.8. Selección de materiales electrónicos

Antes de empezar a realizar la programación, se necesita elegir una placa Arduino que cumpla con los requisitos. Estos requisitos son: la disponibilidad en el mercado, la cantidad de pines analógicos y digitales y las dimensiones de la placa, a los cuales se hace referencia en la Tabla 5.

Tabla 5

El tamaño del código, las variables y las constantes demandan una mayor capacidad de la placa, por lo que se debe elegir una placa adecuada. El nivel de voltaje

no es relevante a nivel electrónico ya que se puede acondicionar la cantidad de tensión a la que se desea trabajar.

Las características de las placas Arduino nano y Arduino uno, son semejantes, como se evidencia en la Tabla 5.

Tabla 5 y Tabla 4, pero la selección fue por la primera al ser una placa más compacta, generando un prototipo más pequeño.

Sensor

Se implementó un sensor láser VL53L0X, el cual permite la detección de la fresa y activa todo el sistema de recolección. Para la selección del sensor se consideró los requerimientos indicados en la Tabla 12.

Tabla 12:

Requerimientos del sensor

Sensor VL53L0X	
Tamaño del sensor	Se coloca el sensor en la base circular de la pinza de agarre flexible, la cual tiene una dimensión de 3 cm de diámetro, por lo que el sensor debe tener esta longitud.
Medio ambiente	La pinza trabaja en las horas de la mañana, siendo esta una limitación, ya que ciertos tipos de sensores son sensibles a la luz y no funcionan adecuadamente en estas condiciones, por ello se usará el sensor láser que no depende del ambiente.
Rango de medición	Puede medir entre 2 cm hasta 200 cm. Con este parámetro no existió ninguna dificultad.
Comunicación	El protocolo de comunicación es I2C el cual se pudo realizar sin problema con Arduino nano.

Se analizó las características tanto de hardware y software, llegando a la mejor

opción que es el sensor laser VL53L0X, ya que cumple con los requerimientos.

Selección de la fuente de alimentación para las pinzas

Para la selección de la fuente de alimentación se debe tener en cuenta todos los elementos que requieren energía eléctrica, en especial los dos servomotores MG996R que brindan el movimiento de las pinzas de agarre y de corte. Los servomotores entran en funcionamiento secuencialmente, primero funciona la pinza de agarre y luego la pinza de corte, obteniendo una corriente total de 900 mA por servomotor.

Teniendo en cuenta el consumo que se necesita, se seleccionó la batería de LiPo que provea el amperaje requerido, considerando las siguientes características:

- Robusto y flexible
- Buena relación entre peso y capacidad de almacenamiento
- Proporciona altos amperajes
- Dimensiones reducidas

Selección del cableado

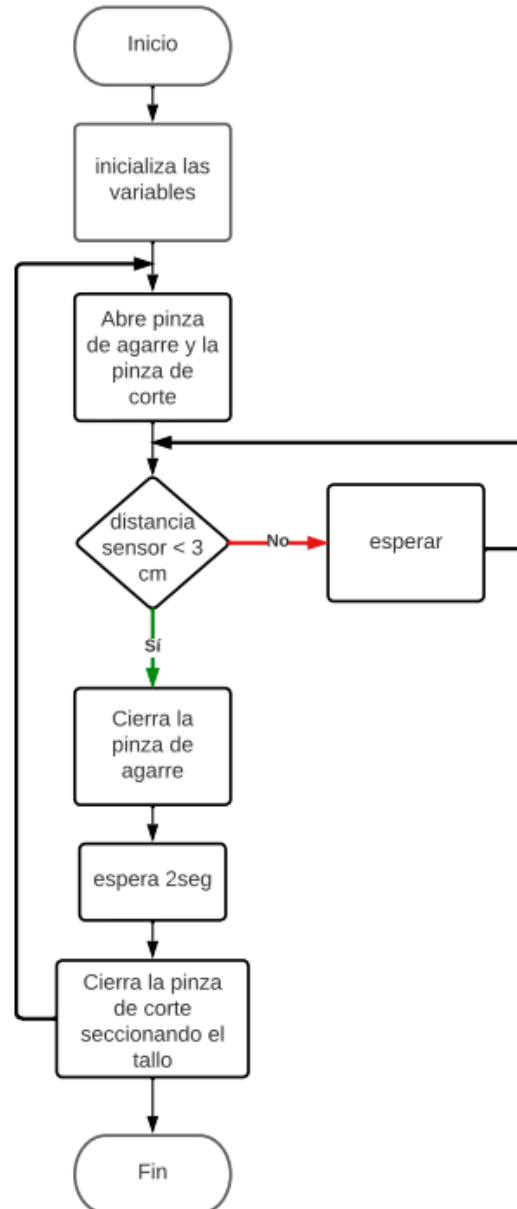
Para que el cable soporte el paso de la corriente sin sufrir ningún daño, se seleccionó los cables Dupont de 24 AWG con diámetro de 0,6 mm, el cual tiene una capacidad máxima de 5 amperios, los cuales son ideales para realizar proyectos de electrónica.

3.9. Diagrama de flujo

En la Figura 29 se detalla el flujograma del sistema para controlar la pinza desde que detecta la fresa, la agarra, corta el tallo y la suelta. El proceso consiste entonces en dos etapas: la primera en la cual la pinza flexible atrapa el fruto cuando es detectado por el sensor, la segunda la pinza de corte procede a cortar el tallo; finalmente el proceso culmina cuando se suelta la fresa.

Figura 29:

Flujograma del sistema de control de la pinza



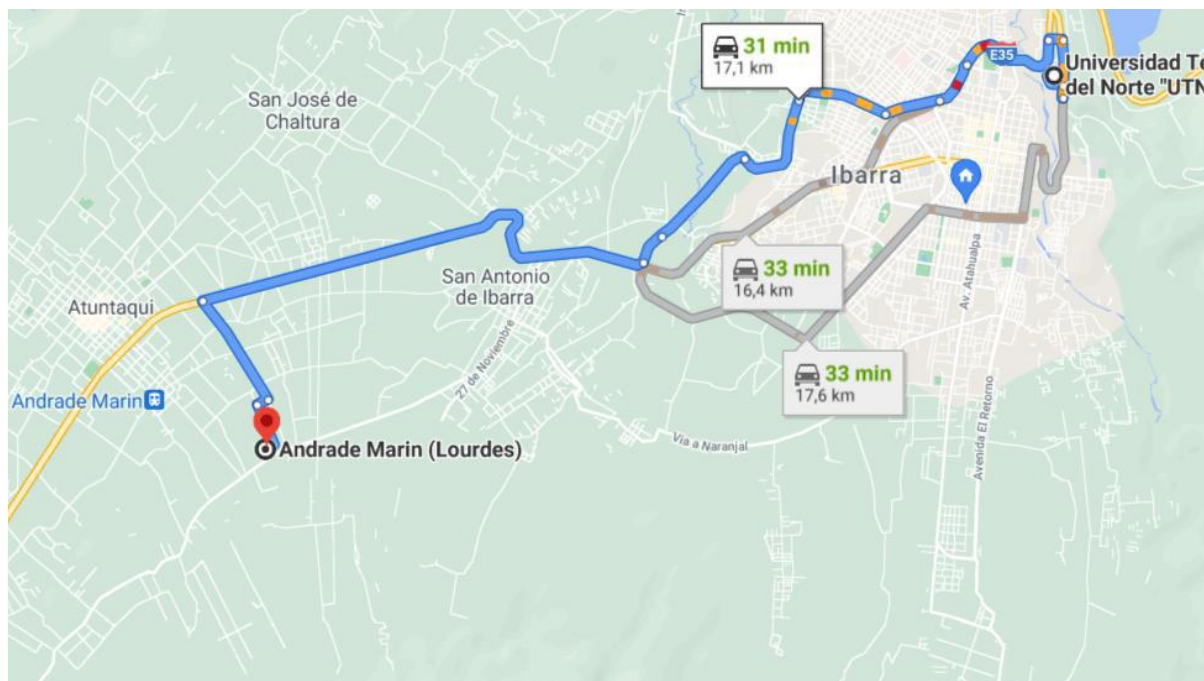
3.10. Descripción del área de estudio / Grupo de Estudio

El estudio se llevó a cabo en la microempresa “La Selecta”, ubicado en el sector Santa Isabel de Pilascacho, de la parroquia Andrade Marín, que pertenece al cantón Antonio Ante, provincia de Imbabura. El lugar señalado es un emprendimiento de la señora María Lucrecia Guerra Andrango, el cual cosecha fresas de tipo Albión, y el

mercado de este producto es la zona norte del país, en especial las ciudades de Ibarra y Cayambe. En la Figura 30 se encuentra la ubicación de la plantación donde se realizó el estudio.

Figura 30:

Localización de la microempresa La Selecta



Nota. Ruta desde la UTN hasta la microempresa La Selecta que se encuentra en Andrade Marín. Tomado de Google Maps (2021).

3.11. Enfoque y tipo de investigación.

El presente trabajo de investigación seleccionó al enfoque ingenieril, debido a que pretende dar solución a un problema específico, fundamentándose en la aplicación de conocimiento, habilidades y destrezas especializadas de acuerdo con las necesidades y descripciones del problema. Se centra con una solución específica a través de la implantación de un prototipo de recolección de agarre flexible.

El actual enfoque metodológico consta de las etapas de identificación y formulación del problema, análisis del problema, búsqueda de posibles soluciones, evaluación de diferentes alternativas y selección de la mejor solución; además de la

especificación de la solución escogida.

El diseño del prototipo de recolección de fresas corresponde a una investigación aplicada, debido a que se implementó la tecnología de robots blandos a partir de los conocimientos adquiridos, para dar solución técnica al problema de cosechado de fresas en la comunidad Pilascacho.

Las pautas investigativas que se aplicaron en este trabajo son:

- *Investigación documental*, debido a que se hizo una revisión de investigación científica y patentes sobre el tema, para tener más información respecto a propiedades agrícolas, y el proceso de la recolección de fresas Albión, así como el tipo de pinzas que podrían emplearse en la recolección.
- *Investigación de campo*, debido a que se hizo la recolección de información en base a entrevistas a los agricultores encargados de la recolección de fresas, y también se tomaron fotografías, para tener una base de datos fotográficos realizados en el campo de cultivos en los días de cosecha.
- *Investigación experimental*, debido a que se realizó pruebas a la pinza blanda para que no maltrate la fresa, el brazo robótico se posiciona en las coordenadas indicadas para recoger la fresa.
- También se utilizó la *investigación descriptiva*, ya que a que es fundamental describir el proceso de recolección de las fresas Albión para identificar sus características.

3.12. Procedimientos (Diseño de la investigación)

Fase 1: Investigación

Se recopiló información de las diferentes formas de recolección de este tipo de fruta y se investigó sobre los diferentes tipos de recolección a nivel mundial. Se necesitó también investigar sobre las formas de cosecha de las fresas en los países de mayor producción de este fruto. Además, se obtuvo información bibliográfica basada en distintos recursos de consulta como: revistas científicas, tesis, simposios y conferencias, videos, publicaciones periódicas revistas y diarios, páginas web, material audiovisual, etc.; con la intención de expandir conocimientos en materia de fabricación de pinzas

flexibles para la cosecha de fresas.

Actividad 1 “Revisión de referencias”: Se elaboró una investigación de las diferentes variedades de fresa y de sus características morfológicas, además de sus procesos de cosecha.

Actividad 2 “Investigación de campo en el proceso de cosecha de la fresa, para recopilación de información”: En esta actividad se visitó directamente la microempresa de cultivo de fresa La Selecta, para conseguir la información necesaria acerca de la recolección de la fresa, de acuerdo con la práctica de los trabajadores y sus experiencias, además se establece los requerimientos reales del trabajador en el campo.

Actividad 3: “Evaluación de los parámetros de calidad de producto que maneja la empresa”: Estos datos se consiguieron en la microempresa “La Selecta”, donde se emplea el control de calidad, para tener los parámetros de categorización de la fresa.

Actividad 4: “Identificación de la calidad del producto que cosecha la empresa”: En el área de control de calidad de la fresa se procedió a clasificar el fruto, respecto al color y tamaño.

Fase 2: Investigación de los diferentes tipos de pinzas de agarre flexible.

Se seleccionó información bibliográfica de los diferentes tipos de pinzas existentes en el mercado. Esta actividad se llevó a cabo con la obtención de la información de la revisión de referencias.

Actividad 1 “Revisión de referencias sobre los tipos de pinzas de agarre flexible”: Se revisaron varios tipos de sistema de agarre existentes en el mercado y que sean idóneas para el agarre de objetos de una forma irregular y que sean delicados, además de sus ventajas y desventajas.

Actividad 2 “Revisión de un modelo de comparación”: Se realizó un modelo de comparación para identificar las características de los diferentes tipos de pinzas de agarre

flexible como son: las formas, materiales de construcción, complejidad, agarre y suavidad.

Actividad 3 “Selección de la pinza para el proceso de recolección de las fresas”: se seleccionó la pinza de agarre flexible que cumplió con las características necesarias para no maltratar el fruto y partir como punto de referencia para diseñar la misma.

Fase 3: Diseño, simulación y ensamble.

Después del análisis de la información obtenida en la fase anterior se procedió a dar una solución para que mejore la recolección de la fresa.

Actividad 1 “Diseño del prototipo de recolección de la fresa”: En esta actividad se diseñó la mejor solución que se ajuste a la morfología de las fresas mediante un software.

Actividad 2 “Simulación del prototipo de recolección de la fresa”: Esta actividad se realizó mediante un software especializado para las diferentes fuerzas y esfuerzos que actúan en el proceso de recolección de la fruta.

Actividad 3: “Selección de materiales”: Se elaboró una selección de materiales disponibles en el mercado para la construcción del prototipo.

Actividad 4: “Análisis de costos”: Se generó un presupuesto para la construcción del prototipo.

Actividad 5: “Ensamblado del prototipo”: Se elaboró el prototipo con materiales de buena calidad y fueron acoplados a los requerimientos.

Demostración el funcionamiento del prototipo

Verificar el movimiento y el sistema de control del dispositivo.

Actividad 1 “Pruebas de funcionamiento”: Se ejecutó las pruebas del correcto funcionamiento del prototipo.

Actividad 2: “Incorporación del sistema de control de movimiento”: Se unió el

sistema de control con la parte mecánica del prototipo, para poder controlar el movimiento de los servomotores y el correcto funcionamiento del sensor por medio de la tarjeta electrónica y posteriormente realizar los diferentes movimientos de la pinza de agarre y corte.

Una vez realizada la incorporación del sistema de control y ejecutar las pruebas de movimientos de los servomotores, se dejó el prototipo funcional para realizar las pruebas cosechando la fruta.

Implementación del prototipo

Actividad 1 “Pruebas de campo”: Se probó el sistema de agarre en el cultivo indicado previamente como zona de estudio.

3.13. Consideraciones ambientales y bioéticas

La presente investigación no asumió un impacto ambiental, debido a que no tiene ningún tipo de material contaminante y aportó a los agricultores en el trabajo, ya que se utilizó electrónica digital, siendo esto inofensivos para la salud. Además, el proyecto tiene el propósito de ayudar a eliminar las enfermedades ocupacionales de los agricultores en el proceso de cosecha de fresas.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Pinza de agarre flexible

4.1.1. Fuerza necesaria para atrapar la fresa

Respecto al cálculo de la fuerza necesaria de cierre de la pinza para agarre de la fresa, se realizó un experimento que constaba de tensar una cuerda que atraviesa por la mitad de los brazos de la pinza, y con ayuda de un dinamómetro se realizó la medición. El ensayo fue efectuado con un solo brazo, ya que todos estos necesitan la misma fuerza para funcionar. Es así como la fuerza fue multiplicada por el número de brazos, ya que ésta define la fuerza total que se requiere para mover la cremallera de la pinza.

$$F = 6,42 \text{ N}$$

$$Ft = 4 \cdot 6,42 \text{ N}$$

$$Ft = 25,68 \text{ N}$$

Donde:

F : la fuerza necesaria para cerrar cada brazo.

Ft : la fuerza para cerrar toda la pinza.

4.1.2. Cálculo del mecanismo piñón cremallera

Para el módulo y paso diametral se utilizó datos de la norma AGMA 917-B97 (1997).

$$m = 1$$

$$Pd = 24 \frac{\text{dientes}}{\text{pulgada}}$$

$$Np = 16$$

donde:

m : módulo

Pd : paso diametral

T : torque motor

Np : número de dientes

Dp : diametro de paso

$$Dp = \frac{Np}{Pd} = 16,933 \text{ mm}$$

Con el diámetro primitivo se obtiene el paso circular

$$p = \frac{\pi}{Pd} = 3,325 \text{ mm}$$

➤ **Las propiedades del diente de los engranes**

Adendum

$$a = \frac{1}{Pd} = 1,058 \text{ mm}$$

Dedendum

$$b = \frac{1,25}{Pd} = 1,323 \text{ mm}$$

Holgura

$$c = \frac{0,25}{Pd} = 0,265 \text{ mm}$$

➤ **Diámetro exterior**

$$Dop = \frac{(Np + 2)}{Pd} = 19,05 \text{ mm}$$

➤ **Diámetro de raíz**

$$Drp = Dp - 2b = 14,288 \text{ mm}$$

➤ **Altura Total**

$$h_t = a + b = 2,381 \text{ mm}$$

➤ **Profundidad de trabajo**

$$h_k = 2 \cdot a = 2,117 \text{ mm}$$

➤ **Espesor del diente**

$$t = \frac{\pi}{2Pd} = 1,662 \text{ mm}$$

4.1.3. Selección del motor de la pinza de agarre flexible

El torque aplicado T para mover la cremallera de dirección, es igual a la fuerza lateral por el radio del piñón recto.

$$T = Ft \cdot \frac{Dop}{2} = 2,494 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

En la Tabla 11, se llegó a la conclusión que el motor idóneo es un servomotor. Los servomotores que se encuentran en el mercado local son de 1,6 kgf · cm, de 1,8 kgf · cm y de 9 kgf · cm, por lo tanto, se seleccionó el último.

4.1.4. Partes del actuador blando

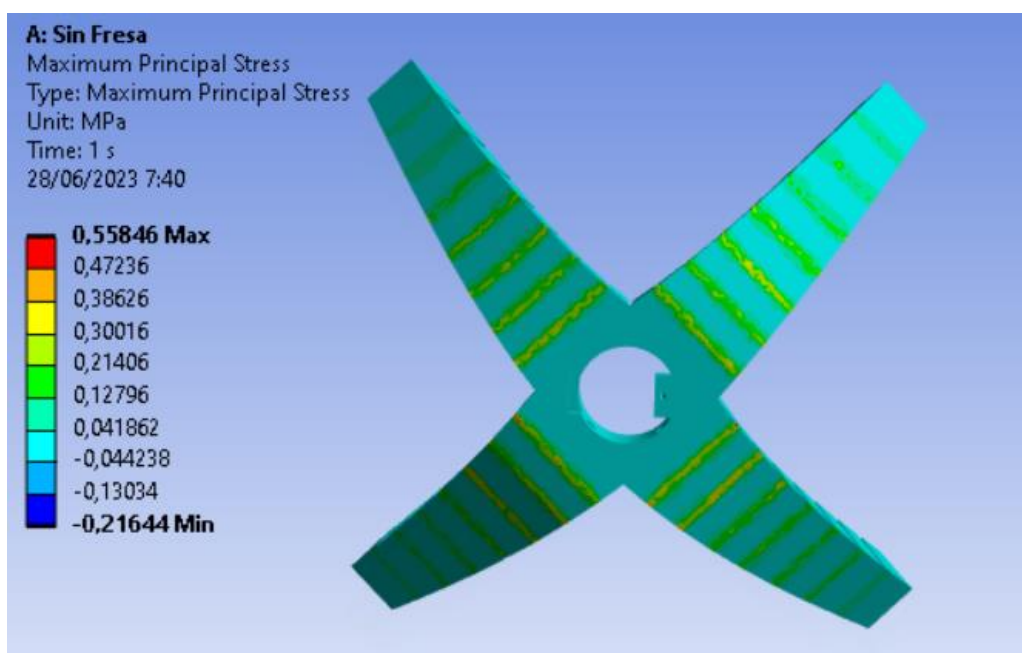
La simulación de tipo no lineal se realizó mediante la ayuda de un software especializado, la cual permite representar el comportamiento de la pinza de agarre flexible, la misma que está realizada con material TPU. El par de fuerza generado por el motor es transmitido por el sistema engrane cremallera a la pinza de agarre flexible, mediante esta acción del hilo nylon que se tensa y se mueven los brazos, la Figura 31 indica la pinza de agarre flexible.

Figura 31:*Mecanismos de pinza flexible*

4.1.5. Análisis del mecanismo sin carga

➤ Esfuerzo Principal

La distribución de esfuerzos principales se encuentra en las uniones de cada eslabón de cada uno de los brazos, el mismo que se analizó sin carga, dando un valor máximo de 0,558 MPa, como se evidencia en la Figura 32, siendo inferior a la resistencia de fluencia del TPU impreso que es de 4 MPa , presentado en la Tabla 8.

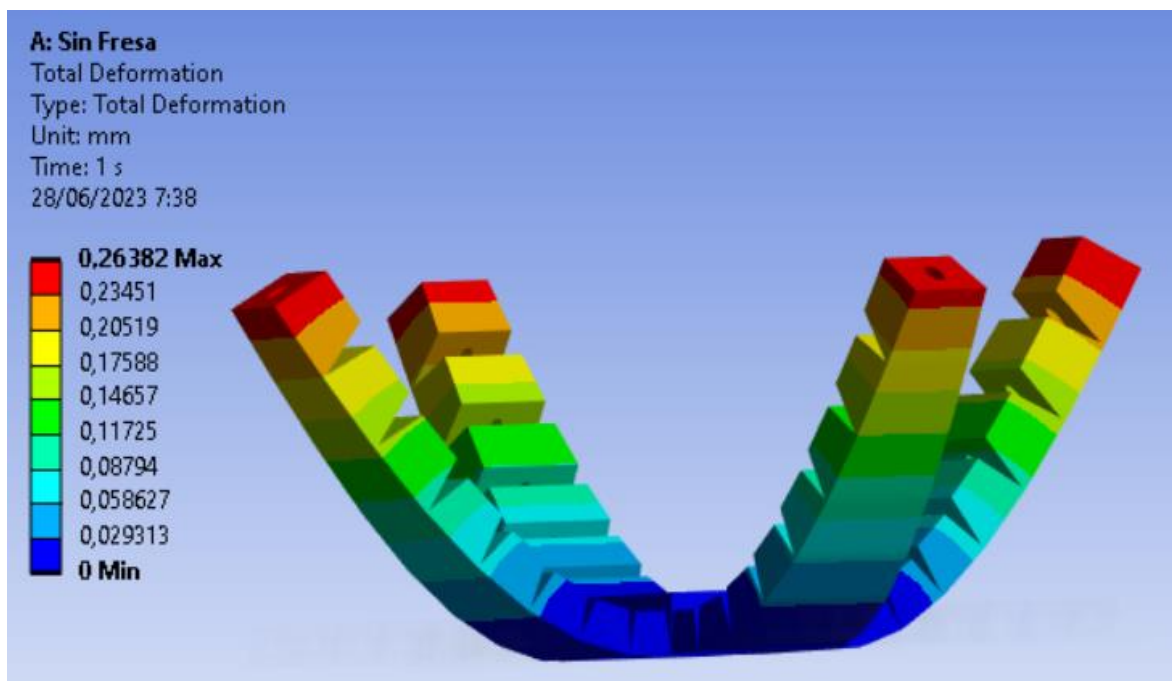
Figura 32:*Esfuerzos principales.*

➤ *Desplazamiento Total*

El máximo desplazamiento se encuentra en los extremos de cada uno de los brazos, el mismo que se analizó sin carga dando un valor de 0,264 mm, como se evidencia en la Figura 33, con de deformación de 0,37%, el mismo que se compara con la deformación máxima del TPU de 55 % que se encuentra en la [Tabla 8](#), por tanto la deformación obtenida es mucho menor a la del material de construcción.

Figura 33:

Deformación Total



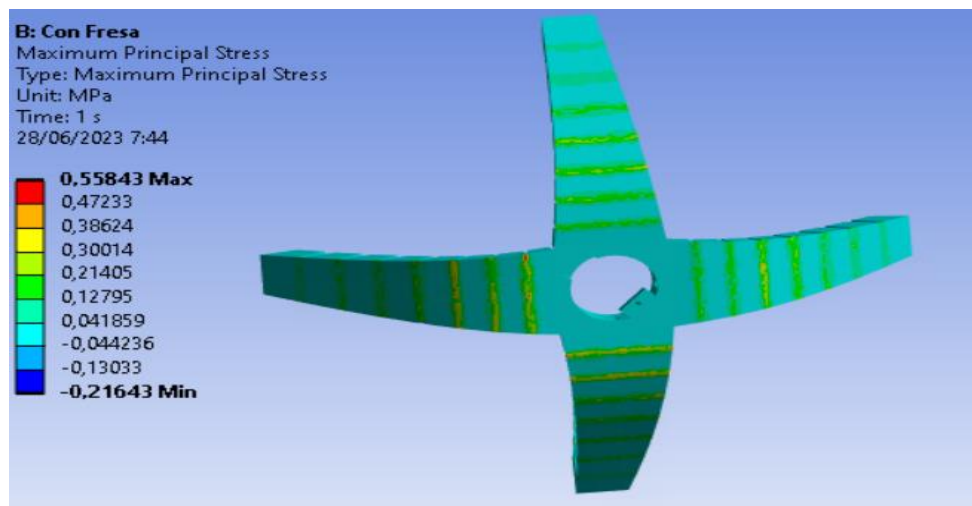
4.1.6. Análisis del mecanismo con carga

Para este análisis se tomó en cuenta la fresa categoría I con su máximo peso de 40 gr, como se presenta en la siguiente Figura 34.

Figura 34:*Pinza cosechando fresa*

➤ ***Esfuerzo Principal Máximo***

La distribución de esfuerzos principales se encuentra en las uniones de cada eslabón de cada uno de los brazos, el mismo que se analizó con el peso de la fresa dando un valor de máximo de 0,559 MPa, tal como se evidencia en la Figura 35, el mismo que se comparó con los 4 MPa la resistencia a la tracción del material TPU que se encuentra en la Tabla 8, siendo el esfuerzo principal máximo muy pequeño en comparación con la resistencia máxima del material de construcción. Nota. a) Base que une a los cuatro brazos de 7cm, b) vista de planta del actuador completo y c) parte frontal de un brazo de la pinza blanda con los ocho trapecios unidos.

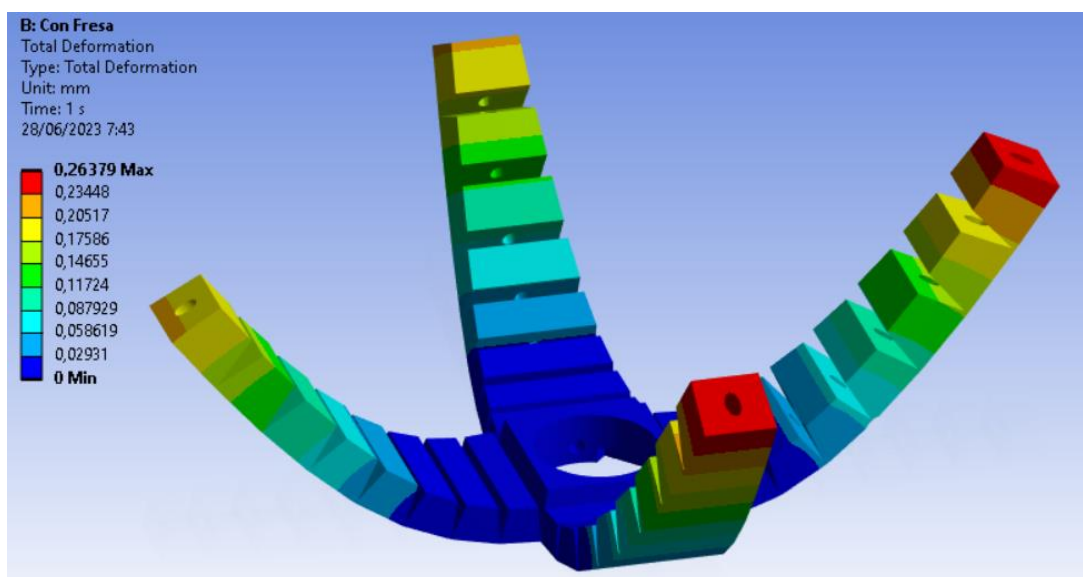
Figura 35:*Esfuerzos principales*

➤ *Desplazamiento máximo*

El máximo desplazamiento se encuentra en los extremos de cada uno de los brazos, el mismo que se analizó con carga de una fresa de 40 gramos, obteniéndose un valor de 0,38%, lo cual se evidencia Figura 36.

Figura 36:

Desplazamiento Total.



Al comparar el valor obtenido con el porcentaje de deformación máxima que soporta el TPU impreso en 3D reportado en la Tabla 8 se obtiene que la deformación máxima obtenida en los extremos de los brazos de la pinza es mucho menor.

Nota a) Base que une a los cuatro brazos de 7 cm, b) vista de planta del actuador completo y c) parte frontal de un brazo de la pinza blanda con los ocho trapecios unidos.

4.2. Pinza de corte

4.2.1. Sistema de transmisión engrane piñón

Para el diseño del sistema de transmisión de la pinza de corte se considera el momento de sujeción de la fresa, y se determina la fuerza necesaria para poder cortar el tallo. La fuerza de corte se calculó mediante el método experimental realizado según el procedimiento descrito en la sección 3.7.2 y cuyos resultados se resumen en la Tabla 9.

$$F_{corte} = 16 N$$

Se diseñaron los engranajes rectos para transmitir el movimiento del motor hasta las pinzas paralelas, que a su vez contiene un piñón fijo hasta las cuchillas, para realizar el corte del tallo de la fresa. La norma AGMA 917-B97 (1997) recomienda diseñar con un ángulo de presión de 20° , una profundidad completa y módulo normalizado. Para que no exista interferencia el número de dientes del piñón debe ser $N_p = 12$ dientes y el número de dientes de los engranes es $N_G = 24$ dientes (Mott, 2006, p. 321).

Se obtuvieron los diámetros primitivos, usando los datos anteriores, el paso diametral y el módulo, los cuales están normalizados según AGMA 917-B97 (1997).

$$m = 1 \text{ mm}$$

$$Pd = 24 \frac{\text{dientes}}{\text{pulgadas}}$$

$$D_G = \frac{N_G}{Pd} = 25,4 \text{ mm}$$

$$D_P = \frac{N_P}{Pd} = 12,7 \text{ mm}$$

Con los diámetros primitivos se obtiene el paso circular:

$$P = \frac{\pi}{Pd} = 3,325 \text{ mm}$$

➤ ***Propiedades del diente de los engranes***

Adendum

$$a = \frac{1}{Pd} = 1,058 \text{ mm}$$

Dedendum

$$b = \frac{1,25}{Pd} = 1,323 \text{ mm}$$

Holgura

$$c = \frac{0,25}{Pd} = 0,265 \text{ mm}$$

➤ *Diámetro exterior*

$$D_{op} = \frac{(N_p + 2)}{Pd} = 14,817 \text{ mm}$$

$$D_{oG} = \frac{(N_G + 2)}{Pd} = 27,517 \text{ mm}$$

➤ *Diámetro de raíz*

$$D_{pr} = D_p - 2b = 10,054 \text{ mm}$$

$$D_{Gr} = D_G - 2b = 22,754 \text{ mm}$$

➤ *Altura Total*

$$h_t = a + b = 2,381 \text{ mm}$$

➤ *Profundidad de trabajo*

$$h_k = 2a = 2,117 \text{ mm}$$

➤ *Espesor del diente*

$$t = \frac{\pi}{2Pd} = 1,662 \text{ mm}$$

➤ *Distancia entre centros*

$$C = \frac{(N_p + N_G)}{2Pd} = 19,05 \text{ mm}$$

➤ **Línea de acción**

$$Dpb = Dp * \cos \theta = 11,934 \text{ mm}$$

$$D_G b = D_G * \cos \theta = 23,868 \text{ mm}$$

➤ **Relación de contacto**

$$Rop = \frac{Dop}{2} = 7,408 \text{ mm}$$

$$Rbp = \frac{Dpb}{2} = 5,967 \text{ mm}$$

$$Ro_G = \frac{Do_G}{2} = 13,758 \text{ mm}$$

$$Rb_G = \frac{D_G b}{2} = 11,934 \text{ mm}$$

$$mf = \frac{\sqrt{Rop^2 + Rbp^2} + \sqrt{Ro_G^2 + Rb_G^2} - C * \text{sen}\theta}{p * \text{cos}\theta} = 1,511$$

Este valor es recomendado para su correcto funcionamiento puesto que la relación de contacto mf es de utilidad para saber cuántos dientes se encuentran en contacto mientras se realiza la transmisión de potencia; una buena relación debe ser superior a 1,2.

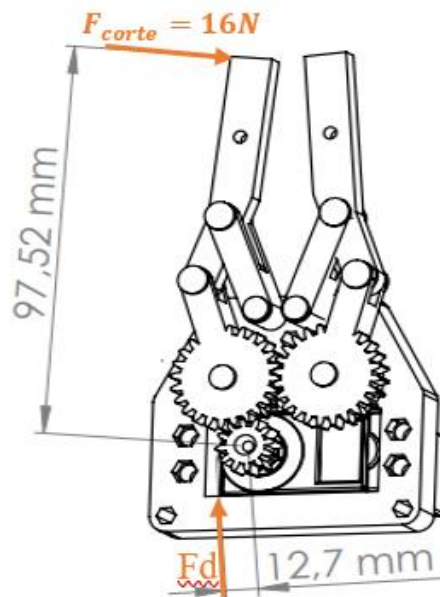
4.1.3. Selección del motor de agarre flexible

Para determinar el torque necesario del motor de accionamiento de la pinza de corte, se partió del valor de F_{corte} obtenido en la sección 3.7.2, y de la longitud $d1$, la cual es la distancia desde el punto de aplicación de la carga en el eslabón, hasta el centro del piñón, como se muestra en la Figura 37.

$$F_{corte} = 16 \text{ N}$$

$$d1 = 97,52 \text{ mm}$$

$$T = F_{corte} \times d1 = 1,547 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Figura 37:*Dimensiones de pinza de corte*

Por medio del torque T y conociendo la distancia es posible determinar la fuerza necesaria Fd para mover el engrane, la cual se transmite desde el eslabón hasta el piñón como se muestra en la Figura 37.

$$Fd = \frac{T}{r_G} = \frac{1,56Nm}{0,013m} = 122,86 N$$

Donde

$r_G = \text{radio del piñón}$

Con la fuerza Fd se calcula el torque Tp necesario para poder mover el piñón, el cual se transmite desde la rueda conductora hasta el piñón.

$$Tp = Fd \times rp \text{ sen } \theta = 0,267 N \cdot m = 2,72 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

Para la selección del motor de la pinza de corte se tomó en cuenta los requerimientos de potencia del sistema a implementar, y el uso de motores de corriente continua con los cuales se puede controlar la posición según los criterios establecidos previamente en la Tabla 11, obteniéndose que el motor más adecuado es un servomotor, siendo los criterios con mayor influencia el costo, peso y la potencia. Los servomotores

que se encuentran en el mercado son de $1,6 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$, de $1,8 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$ y de $9,4 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$, seleccionando el último, debido a que los otros modelos disponibles proporcionan un torque inferior al requerido por el sistema.

4.2.3. Esfuerzo cortante máximo de las cuchillas.

Para calcular el esfuerzo máximo de las cuchillas, se utiliza el material seleccionado AISI 304. Para el diseño se utiliza un factor de seguridad $F_s = 5$ para materiales dúctiles según lo sugerido por (Mott, 2006, p. 187).

$$S_y = 220 \text{ MPa}$$

$$\tau_{max} = 0,5 \frac{S_y}{F_s}$$

$$\tau_{max} = 22 \text{ MPa}$$

Donde

S_y = Resistencia a la fluencia

F_s = Factor de seguridad

τ_{max} = Esfuerzo cortante máximo

4.2.4. Cálculo del espesor de la cuchilla.

Para el cálculo del espesor e de la cuchilla, se utilizó la fuerza F_{corte} , y el esfuerzo máximo cortante del material τ_{max} , calculado en la sección 4.2.3, con un valor de h como una altura útil para el corte y con un espesor de $b \approx e$, en la Figura 38 se indica las partes de la cuchilla.

$$F_{corte} = 16 \text{ N} \quad h = 20 \text{ mm} \quad \tau_{max} = 22 \text{ MPa}$$

$$A = (b \approx e) \times h$$

$$A = e \times h$$

$$\tau_{max} = \frac{F_{corte}}{A}$$

$$\tau_{max} = \frac{F_{corte}}{e \times h}$$

$$e = \frac{F_{corte}}{\tau_{max} \times h}$$

$$e = 0,036 \text{ mm}$$

Donde

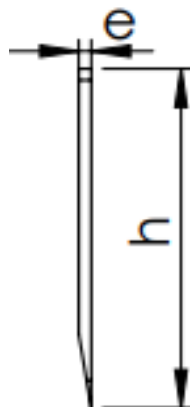
e = *Espesor de la cuchilla*

b = *base*

h = *Altura de la cuchilla*

Figura 38:

Partes de la cuchilla.



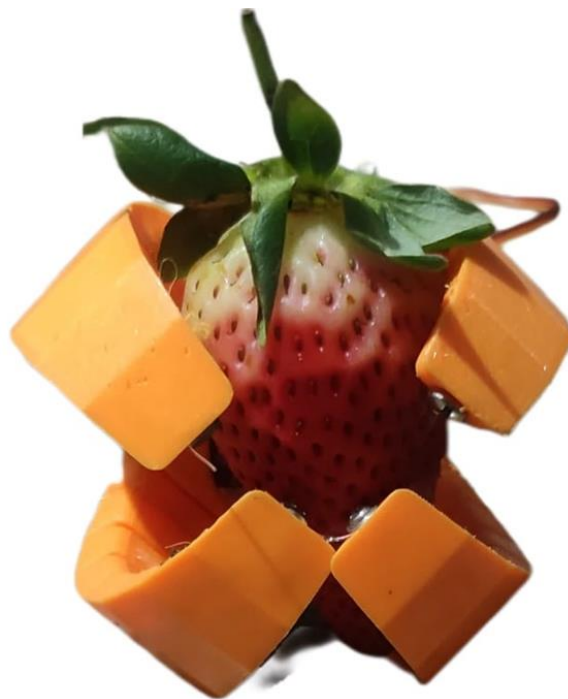
4.3. Resultados de funcionamiento de la pinza de agarre flexible.

Después de haber realizado las pruebas de funcionamiento se determinó que la pinza cumple con los requerimientos establecidos. Se creó un prototipo utilizando tecnología de impresión 3D. La pinza flexible construida con material TPU, tiene un peso de 125 gramos, mientras que el mecanismo y la carcasa realizados en material PLA, son completamente desmontables. La pinza flexible permite cambiar de posición de forma autónoma, al momento de detectar un objeto por medio del sensor laser (VL53L0X), los brazos de la pinza flexible se cierran accionada por el hilo nylon mencionado en el capítulo anterior, los que se encuentran unidos a un sistema de cremallera que se acciona

por un servomotor. En todo el tiempo de la cosecha la fresa no recibe ningún tipo de maltrato ni deformación, evitando así pérdidas económicas y conservando la hermosura de la fruta.

Figura 39:

Cosecha de la fresa.



Se realizaron las pruebas de funcionamiento de la pinza de agarre con diferentes fresas de distintos pesos, con la finalidad de verificar si puede sostenerlas sin dañar su integridad.

Tabla 13:

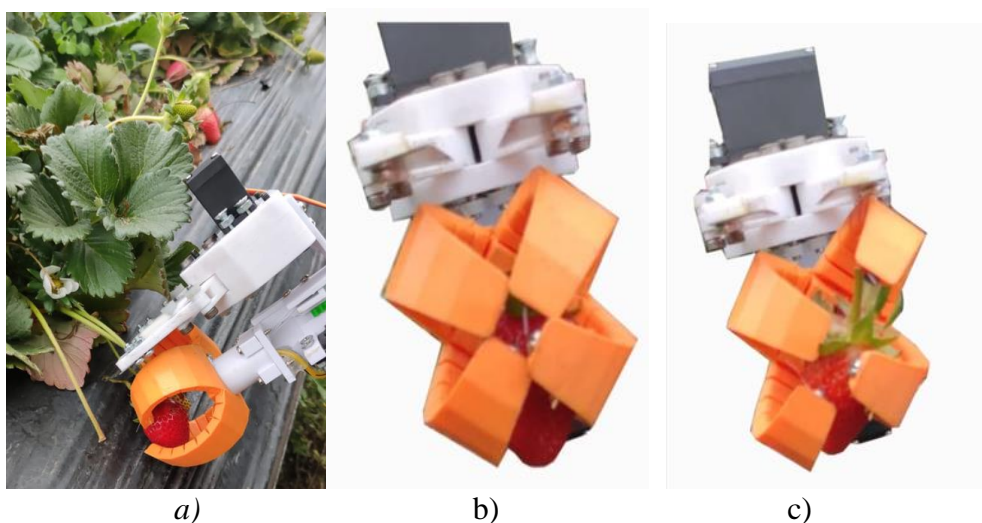
Pruebas de funcionamiento de la pinza de agarre flexible.

Intentos	Peso (g)	Dimensiones		Soporta el peso	Mantiene Integra la fresa
		Longitudinal (mm)	Transversal (mm)		
1	31	54	30	✓	✓
2	34	55	31	✓	✓
3	37	47	29	✓	✓
4	32	55	24	✓	✓
5	29	50	28	✓	✓
6	24	45	31	✓	✓

Intentos	Peso (g)	Dimensiones		Soporta el peso	Mantiene Integra la fresa
		Longitudinal (mm)	Transversal (mm)		
7	30	52	35	✓	✓
8	28	49	29	✓	✓
9	32	53	30	✓	✓
10	35	56	33	✓	✓

Figura 40:

Pruebas de sujeción de la fresa con la pinza de agarre flexible.



Nota: En a), se muestra la pinza flexible agarrando la fresa antes de cortar el tallo; en las b) y c), se representan fresas de diferentes tamaños dentro de la pinza flexible sin que sufran ningún tipo de maltrato. Después de realizar diversas pruebas, se ha comprobado que la pinza mantiene la fresa sujeta, evitando que esta caiga y sin causar ningún daño. Este resultado respalda la elección adecuada de los materiales de construcción y del motor, lo cual confirma la alta fiabilidad de la pinza.

4.5. Resultados del funcionamiento de la pinza de corte.

Se realizaron las pruebas de funcionamiento al cortar diferentes tallos para verificar el correcto funcionamiento.

Tabla 14:*Pruebas de funcionamiento de la pinza de corte.*

Intentos	Diámetro de tallo (mm)	Corta el tallo
1	2,10	✓
2	2,02	✓
3	1,90	✓
4	2,30	✓
5	2,80	✓
6	2,20	✓
7	2,60	✓
8	1,80	✓
9	2,50	✓
10	2,90	✓

Figura 41:*Pruebas de corte del tallo con la pinza de corte.*

a)



b)



c)

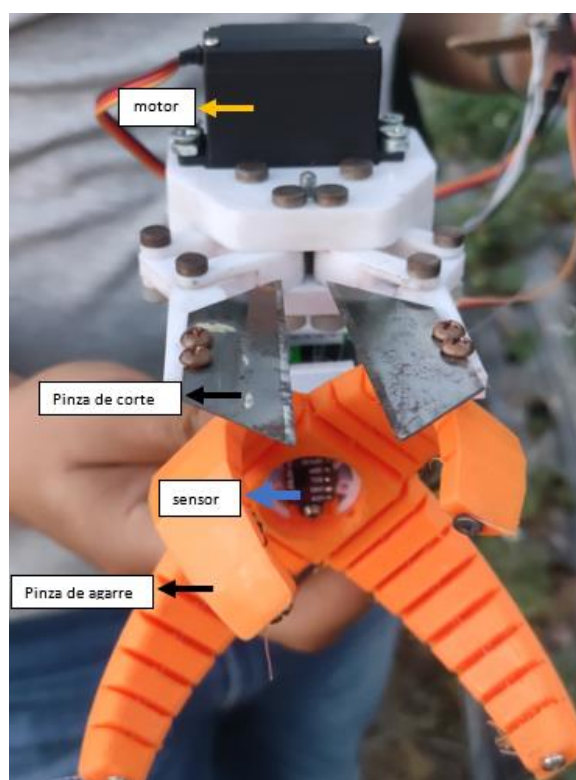
Nota: En a) y b), se muestra a la pinza cortando tallos de diferente diámetro; en c) se indica que ha sido cortado el tallo. Luego de realizar las pruebas de la pinza de corte, se llega a la conclusión que puede cortar todos los tallos de las plantas sin maltratar la fruta, comprobando que la selección de los materiales y la selección del motor es correcta.

4.6. Prueba de funcionamiento de las pinzas en la cosecha

Luego de ensamblar las dos pinzas, se realizó la unión del código de funcionamiento de la pinza de agarre flexible y la pinza de corte, lo cual se llevó a cabo en el software de Arduino para generar los movimientos de agarre y corte. Para ello, se tuvo que realizar la modificación de las posiciones de apertura y cierre de las dos pinzas ya que no se pueden abrir completamente. El ensamble completo de todo el dispositivo se presenta en la fotografía de la Figura 42.

Figura 42:

Dispositivo de agarre y corte ensamblado



4.7. Presupuesto del proyecto

Los costos de recursos humanos y materiales utilizados en la construcción de todo el dispositivo se presentan a continuación.

4.7.1 Costo de recursos humanos

El tiempo estimado para la realización del proyecto de pinza de agarre flexible fue

alrededor de 380 horas. Para calcular el precio de dichas horas, se ha tomado en cuenta el precio pagado por hora a un ingeniero y el valor total estimado se presenta en la Tabla 15.

Tabla 15:

Costos de recursos humanos.

Trabajador	Horas	Valor (USD)	Total (USD)
Ingeniero	380	7	2660

4.7.2. Costo de materiales

En la Tabla 16 se encuentran todos los materiales que se utilizaron en el proyecto, señalando la cantidad y precio.

Tabla 16:

Costo de materiales.

Producto	Cantidad	Valor unitario (USD)	Total (USD)
Sensor infrarrojo	1	10	10,0
Servomotor	2	9	18,0
Cuchillas de acero inoxidable	2	9	18,0
Arduino nano	1	10	10,0
Baterías de LiPo	1	14	14,0
Cargador de baterías de LiPo	1	10	10,0
Cables Dupont	18	3	54,0
Shield arduino nano	1	5	5,0
Botón de encendido	1	1	1,0
Tornillos	1	3	3
Hilo nylon	1	10	10,0
TOTAL			153,0

4.7.3. Costo de impresión en 3D

En la Tabla 17 se encuentra detallado todas las piezas impresas en 3D, recordando que la pinza de agarre flexible se realizó en TPU y las demás piezas en PLA.

Tabla 17:*Precio de impresión 3D.*

Pieza	Cantidad	USD/hora	Horas de impresión	Total (USD)
Pinza de agarre flexible	3	3,5	8	28,0
Mecanismo piñón cremallera	2	2,5	7	17,5
Soportes	5	2,5	8	20,0
Mecanismo pinza de corte	3	2,5	7	17,5
			TOTAL	83,0

4.7.4. Costo total

La suma de todos los costos para realizar todo el proyecto se indica en la Tabla 18.

Tabla 18:*Costo total del proyecto.*

Costo del Proyecto	Total USD
Costo de recursos humanos	2660,0
Costo de materiales	153,0
Costo de impresión en 3D	83,0
Total	2896,0

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para la construcción del prototipo de pinza de agarre flexible se requirió de la elaboración de una programación de trabajo, en la que se determinó diferentes mecanismos de los cuales está conformada para cumplir con los objetivos planteados.

5.1. Conclusiones

En la zona norte del país para el cultivo de fresas se utilizan camas de 40 cm de altura y una separación entre ellas de 35 cm, dificultando la cosecha manual de los trabajadores y ubicándose en posiciones poco ergonómicas durante largas jornadas de trabajo, provocando en ellos enfermedades ocupacionales. Por tal motivo se diseñó y construyó un sistema de agarre y corte para cosechar fresas, en el cual una pinza corta la fruta, mientras una pinza flexible la sostiene, permitiendo la separación de la fresa sin dañarla.

Tras un minucioso análisis de diversos actuadores suaves con el propósito de seleccionar el sistema más adecuado para el manejo de frutos delicados, se diseñó un actuador específico para la sujeción de estos productos. Se evaluaron distintas opciones, como pinzas eléctricas, hidráulicas y neumáticas, comúnmente utilizadas en la agricultura. En este caso, se decidió crear un actuador óptimo para la manipulación de fresas, garantizando así una recolección sin daños ni caídas, además de permitir un corte del tallo de manera satisfactoria. Aunque la primera opción considerada fue una pinza neumática, que se considera ideal para esta aplicación, las condiciones del terreno, en particular la presencia de polvo, hicieron que no fuera viable su implementación. Por lo tanto, se optó por una pinza eléctrica como alternativa, la cual demostró ser una solución eficaz en estas circunstancias.

Se implementó un sistema de agarre flexible completamente funcional, cumpliendo los requerimientos establecidos de diseño y construcción para cosechar la fresa categoría I de la región norte del Ecuador. Las fresas de esta categoría pesan alrededor de 30 gramos, al momento de la cosecha con la pinza de agarre flexible no es maltratada ni deformada durante la recolección. Sin embargo, es importante destacar que esta solución no solo es efectiva para fresas de esta categoría, sino que también puede ser utilizada para fresas más pequeñas.

Todas las partes mecánicas del prototipo se realizaron mediante impresión 3D. La fabricación se efectuó, tomando en cuenta facilidad, calidad, costo de los elementos. La pinza de agarre de la fresa se fabricó en material blando como el TPU, de fácil adquisición, con una aplicación innovadora, pensado en no maltratar la fruta y evitar pérdidas económicas. La pinza de corte y las otras piezas se realizaron en material plástico como el PLA el cual es renovable y biodegradable.

La implementación exitosa del sistema de agarre para la recolección de fresas maduras seleccionadas. Esto optimiza la recolección de fresas y contribuye significativamente a la calidad y eficiencia en la cosecha de este cultivo. El sistema de agarre es una herramienta valiosa para los agricultores, ya que les permite recolectar fresas de manera más eficiente y precisa, lo que puede mejorar la calidad del producto final y aumentar la rentabilidad de la cosecha

5.2. Recomendaciones

Se recomienda la continuación del proyecto de tesis para implementar un brazo robótico, mejorar los sistemas de control, para que el prototipo de cosechadora pueda optimizar su funcionalidad.

Es aconsejable fomentar en la agricultura los cultivos hidropónicos para que el prototipo pueda mejorar el agarre de las fresas, y todo el fruto que se encuentre

suspendido no se quede oculto en medio de las hojas mejorando así la forma de cosecha.

Es recomendable realizar una implementación de tecnología IOT para que pueda el prototipo trabajar de manera autónoma, y así tener una monitorización del estado del modelo y del conteo de fresas cosechadas.

Se recomienda continuar investigando y desarrollando mejoras en el sistema de agarre flexible para optimizar su desempeño y versatilidad en la recolección de otros tipos de frutas o vegetales en la región

Es recomendable la adopción de materiales sostenibles, como el PLA en la fabricación como el PLA, en la fabricación de componentes agrícolas, no solo por su biodegradabilidad sino también por su impacto ambiental reducido, promoviendo prácticas agrícolas más amigables con el medio ambiente.

Se recomienda agregar un sensor en la pinza de corte con el propósito de salvaguardar la integridad del usuario del prototipo. Esta medida no solo mejora la seguridad del equipo, sino que se centra exclusivamente en prevenir lesiones por corte del operario, sin interferir con otros aspectos relacionados con el funcionamiento del prototipo

REFERENCIAS

- American Gear Manufacturers Association AGMA 917-B97. (1997). *Design Manual for Parallel Shaft Fine-Pitch Gearing*. Alexandria, Virginia, Estados Unidos de América.
- Arduino. (2022). *Arduino.cc*. Obtenido de <https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-uno-wifi-rev2>
- Castañeda, H., Reyes Hernández, M. C., Graciela Gómez, M. C., Zitzumbo, R., Sánchez, J., & Alonso, S. (2010, Junio). Análisis del Módulo Elástico Y Resistencia a la Ruptura en Mezclas de Nanocompuestos de ABS/TPU. *Conciencia Tecnológica*(39), 10.
- Cayán Martínez , J. C., Guamán Lozano , Á. G., & Jácome Valdez , M. A. (2015). *Ilibrary.co*. Obtenido de <http://ceaa.esPOCH.edu.ec:8080/revista.perfiles/Articulos/Perfiles14Art4.pdf>
- Corona Ramírez, L., Abarca Jiménez, G., & Mares Carreño, J. (2014). *Sensores y actuadores Aplicaciones con Arduino*. México: Grupo Patria.
- DIPAC. (Junio de 2022). *Dipacmanta*. Obtenido de <https://dipacmanta.com/producto/ejes/aisi-304-inoxidable/ejes-aisi-304-inoxidable/>
- Gómez, E. (2014). *Diseño, modelado y fabricación de robots blandos*. Repositorio Universidad Carlos III de Madrid, Madrid, España. Obtenido de <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/23343>
- Gudiño Márquez, J. W.-H., Gudiño Lau, J., Chávez Montejano, F., Charre Ibarra, S., Alcalá Rodríguez, J., & Luiz López, N. (4 de Septiembre de 2019). Robótica Suave: diseño y construcción. *Pädi Boletín Científico en Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*. Obtenido de

https://www.academia.edu/69981618/Rob%C3%B3tica_suave_dise%C3%B1o_y_construcci%C3%B3n

Honji, S., & Tahara, K. (02 de Julio de 2020). *IEEE Xplore*. doi:10.1109/RoboSoft48309.2020.9116009

Jabil. (2019). *www.jabil.com*. Obtenido de <https://www.jabil.com/search-page.html?q=tpu+90A>

life.augmented. (Mayo de 2016). *alldatasheet.com*. Obtenido de <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/948120/STMICROELECTRONICS/VL53L0X.html>

Medina-Bolívar, J. S., Pinzón-Sandoval, E. H., & Cely, G. E. (2016). *Efecto de sustratos orgánicos en plantas de fresa (Fragaria sp.) cv 'Albion' bajo condiciones de campo*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. doi:<https://www.redalyc.org/journal/5600/560062851002/html/>

Morgan, E. J. (2014 de Noviembre de 2014). *Alldatasheet.com*. Obtenido de <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1132203/ETC2/HC-SR04.html>

Mott, R. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. México: Pearson Educación.

Naranjo Vallejo , X. A., & Tello Cordones , J. F. (s.f.). *Diseño e implementación de una pinza flexible basado en la tecnología de robótica blanda para manipulación y clasificación de objetos con geometría irregular implementado en el brazo robótico Mitsubishi del laboratorio de mecatrónica*. Repositorio Institucional ESPE. Obtenido de <https://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/13824>

Nasab, A. M., Sabzehzar, A., Tatari, M., Majidi, C., & Shan, W. (2017, Diciembre 1). A Soft Gripper with Rigidity Tunable Elastomer Strips as Ligaments. *Soft Robotics*, 4(4). doi:<https://doi.org/10.1089/soro.2016.0039>

- Navas , E., Fernández Reomi, Sepúlveda, D., Armada , M., & Gonzales-de-Santos , P. (11 de Abril de 2021). *Soft Grippers for Automatic Crop Harvesting*. Dionysis Bochtis. doi:<https://doi.org/10.3390/s21082689>
- Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control moderna*. Madrid: Pearson Educación.
- Parra Castro , E. J. (2018). *Producción y comercialización de frutilla (fragaria sp) en la parroquia Yaruquí, cantón Quito, provincia de Pichincha*. Repositorio Institucional. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/8658>
- SENPLADES. (2017). *Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021-Toda una Vida*. Quito.
- Silva , C., & Gallardo , J. (2018). Diseño e implementación de prototipo de una pinza robótica adaptativa de tres dedos basada en estructura FinRay®*. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*. doi:10.22395/rium.v18n34a7
- Tustón Chacón , R. G. (2013). *Sistematización de experiencias del cultivo de frutilla (fragaria dioica), para la sierra norte de Pichincha*. Repositorio Institucional. Retrieved from <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/3759?locale=en>
- vistaalmar.es. (2020). *Vista al mar*. Obtenido de <https://www.vistaalmar.es/ciencia-tecnologia/ingenieria-innovacion/8903-nueva-pinza-robotica-recoge-suavemente-medusas-aguas-profundas.html>