



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Diseño y fabricación de un
clasificador de insectos autónomo
para el monitoreo de plagas en la
citricultura**

TESIS

Que para obtener el título de

Ingeniero Mecánico

P R E S E N T A

Josue Jafet Pedraza Sánchez

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Víctor Manuel Lomas Barrié



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2024



Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero y profundo agradecimiento a quienes han sido pilares fundamentales en mi vida y en la realización de este proyecto. A mis padres, Josue Pedraza e Isabel Sánchez; cuyo amor, apoyo y sacrificios constantes me han permitido alcanzar este sueño. Sin su guía y dedicación, este logro no habría sido posible. A mi hermano Cesar Pedraza y mi hermana Isabel Pedraza, gracias por sus palabras de aliento, por estar siempre ahí cuando más lo necesitaba y por creer en mí incluso en los momentos más difíciles.

A mis abuelos maternos y paternos, y a cada uno de los miembros de mi familia, mis tías y tíos, quienes han sido modelos de inspiración y ejemplo de esfuerzo. Sus valores y enseñanzas ha sido la fuerza que me impulsó a seguir adelante. De igual manera, deseo expresar, de manera especial, mi gratitud a Fernanda, mi compañera en este viaje. Su apoyo constante, su comprensión y su cariño han sido el refugio donde encontré fuerza y motivación para seguir adelante.

A mi director de tesis, Dr. Víctor Lomas, por su confianza, paciencia y por brindarme la oportunidad de crecer académica y personalmente bajo su tutela. Agradezco profundamente a los académicos y compañeros que formaron parte de este proyecto, como el Mtro. Humberto Gómez y mi compañero y futuro doctor Valente Vázquez, por su colaboración, amistad y por compartir su conocimiento y experiencia. De igual manera agradezco a INIFAP y a cada uno de los investigadores que lo conforman por permitirme la oportunidad de desarrollar este desafío y apoyarme durante su ejecución.

Finalmente, quiero extender mi agradecimiento al "Programa de apoyo a proyectos de investigación e innovación tecnológica PAPIIT", cuya beca fue vital para la elaboración de mi tesis, permitiéndome dedicarme plenamente a este proyecto con los recursos necesarios.



Índice

Agradecimientos	2
Índice	3
Tabla de ilustraciones.....	6
Lista de vocabulario.....	9
Introducción	10
Antecedentes.....	12
Objetivo	14
Marco Teórico	15
Citricultura	15
Monitoreo temprano de plagas.....	18
Aprendizaje automático y clasificación de insectos	21
Metodología de diseño Sprint	23
Capítulo 1. Diseño conceptual.....	25
Sistema de transporte de insectos.....	28
Diseño Conceptual 1: Compuerta.....	29
Diseño Conceptual 2: Rotacional.....	30
Diseño Conceptual 3: Tornillo de Arquímedes	30
Diseño Conceptual 4: Rotación dual.....	31
Diseño Conceptual 5: Monitorización Continua.....	31
Diseño Conceptual 6: Banda transportadora	32
Resultados de encuesta.....	33
Sistema de muestreo de insectos	36
Diseño Conceptual 1: Sistema Cartesiano	36
Diseño Conceptual 2: Configuración Scara	37
Diseño Conceptual 3: Mecanismo cinemático	37
Diseño Conceptual 4: Solo Eje Z	37
Diseño Conceptual 5: Fijo	38
Sistema de recolección de insectos	38
Diseño Conceptual 1: Cruz de Malta	39
Diseño Conceptual 2: Mecanismo de levas	40
Diseño Conceptual 3: Tren de engranes.....	41



Capítulo 2. Diseño Mecánico.....	42
Fabricación de prototipos.....	43
Sistema de transporte de insectos.....	43
Sistema de muestreo de insectos.....	45
Sistema de recolección de insectos.....	49
Análisis de materiales.....	51
Diseño Final.....	55
Sistema de transporte de insectos.....	56
Sistema de muestreo de insectos.....	57
Sistema de recolección de insectos.....	58
Funcionamiento del sistema.....	59
Cálculos efectuados.....	61
CAD.....	65
Clasificador de insectos autónomo para monitoreo de plagas en la citricultura.....	66
Sistema de transporte de insectos.....	68
Sistema de monitoreo de insectos.....	76
Sistema de recolección de insectos.....	79
CAM.....	87
CAE.....	95
Empaques de frascos.....	96
Piñón cruz de malta.....	100
Cruz de malta.....	102
Flecha de válvula.....	104
Piñón de biela de válvula.....	106
Capítulo 3. Fabricación e instalación.....	108
Fabricación.....	108
Diagrama de conexión de potencia.....	110
Diagrama de conexión hidráulica.....	111
Capítulo 4. Resultados preliminares de primera entrega.....	112
Eventos y Experiencia.....	112
Resultados.....	116
Observaciones.....	117
Capítulo 5. Replanteamiento del sistema.....	118
Sistema de muestreo de insectos.....	120
Velocidad del fluido.....	121
Gasto de fluido.....	122



DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN CLASIFICADOR DE INSECTOS AUTÓNOMO PARA EL MONITOREO DE PLAGAS EN LA CITRICULTURA.



Numero de Reynolds	122
Sistema de transporte de insectos.....	126
Funcionamiento.....	128
Especificaciones de diseño	129
Resultados experimentales	131
Filtrado de insectos por tamaño.	132
Elección de motobomba para fluido.	134
Sistema de recolección de insectos.	136
<i>Capítulo 6. Resultados y conclusiones.....</i>	138
Resultados	138
Futuros proyectos.....	139
Conclusiones	140
<i>Bibliografía y Referencias</i>	141



Tabla de ilustraciones.

Ilustración 1. Diagrama de trampa Rothamsted instalada en Mococho, Yucatán. (Elaboración propia)	12
Ilustración 2 Trampa Rothamsted instalada en Mococho, Yucatán. (Elaboración propia)	13
Ilustración 3. Tabla de volumen de producción de naranja en México. Obtenido de: [2].....	16
Ilustración 4. Ilustración 4 Centro de Empaque de Maduración y Liberación de Moscas de la Fruta Estériles. Obtenido de [5].....	17
Ilustración 5. Trampa pegajosa para insectos voladores utilizada por INIFAP. (Elaboración propia).....	20
Ilustración 6 Investigadores de INIFAP analizando muestras de insectos. (Elaboración propia).....	22
Ilustración 7. Resultados de las 3 necesidades más importantes. (Elaboración propia)	27
Ilustración 8. Boceto de Diseño conceptual 1. (Elaboración propia)	29
Ilustración 9. Boceto diseño conceptual 2. (Elaboración propia).....	30
Ilustración 10. Boceto de diseño conceptual 3. (Elaboración propia).....	30
Ilustración 11. Boceto de diseño conceptual 4. (Elaboración propia).....	31
Ilustración 12. Boceto de diseño conceptual 5. (Elaboración propia).....	31
Ilustración 13 Boceto de diseño conceptual 6. (Elaboración propia).....	32
Ilustración 14 Diagrama que presenta respuestas de equipo. (Elaboración propia)	33
Ilustración 15. Matriz de ponderación. (Elaboración propia)	34
Ilustración 16. Nivel de conformidad. (Elaboración propia)	34
Ilustración 17. Robot cartesiano. Obtenido de: [25].....	36
Ilustración 18. Robot Scara 4GDL. Obtenido de: [25]	37
Ilustración 19. Mecanismo de 4 barras. Obtenido de: [26].....	37
Ilustración 20. Tornillo sin fin. Obtenido de: [25]	37
Ilustración 21. Prototipo anterior de recolección de insectos TRSFI-F8 (Elaboración propia).....	39
Ilustración 22. Mecanismo Cruz de malta. Obtenido de: [13]	40
Ilustración 23 Mecanismo de levas. Obtenido de: [27].....	41
Ilustración 24. Par de engranes. Obtenido de: [14]	42
Ilustración 25. CAD de prototipo 1. (Elaboración propia)	43
Ilustración 26 Rueda estratégica de ecodiseño. (Elaboración propia).....	44
Ilustración 27. Prototipo 1 fabricado. (Elaboración propia).....	45
Ilustración 28. Trampa para insectos "Muericke". (Elaboración propia)	46
Ilustración 29. Insectos obtenidos observados desde cámara microscopio. (Elaboración propia)	47
Ilustración 30. Prueba con Cámara para raspberry. (Elaboración propia).....	47
Ilustración 31. Fotografía insectos: 10 cm de altura, 1.5 cm x 1.5cm. (Elaboración propia)	48
Ilustración 32 Fotografía insectos: 3 cm de altura, 0.7 cm x 0.7cm. (Elaboración propia)	48
Ilustración 33. Prototipado de cámara con 3 ejes de libertad. (Elaboración propia)	49
Ilustración 34. Versión anterior del prototipo TRSFI-F8. (Elaboración propia).....	50
Ilustración 35. Grafica transparencia vs módulo de Young. Obtenido de: CES EDUPACK	52
Ilustración 36 "Grafica densidad vs Modulo de Young". Obtenido de: CES EDUPACK	53
Ilustración 37. "Grafica Densidad vs módulo de Young". Obtenido de: CES EDUPACK	54
Ilustración 38 Clasificador de insectos autónomo. (Elaboración propia).....	55



DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN CLASIFICADOR DE INSECTOS AUTÓNOMO PARA EL MONITOREO DE PLAGAS EN LA CITRICULTURA.



Ilustración 39 Sistema de transporte de insectos. (Elaboración propia)	56
Ilustración 40. Sistema de monitoreo de insectos. (Elaboración propia)	57
Ilustración 41. CAD Cruz de Malta. (Elaboración propia)	58
Ilustración 42. Sistema de recolección de insectos. (Elaboración propia)	59
Ilustración 43. Diagrama de tiempos del sistema de transporte de insectos. (Elaboración propia)	60
Ilustración 44. Diagrama de tiempos del sistema de recolección de insectos. (Elaboración propia)	61
Ilustración 45. Diagrama de torques. (Elaboración propia).	62
Ilustración 46. Diagrama de fuerzas. (Elaboración propia)	63
Ilustración 47. Catálogo de resortes comerciales con nuestros requerimientos. Consultado en: [16]	64
Ilustración 48. Pieza diseñada para ser impresa en 3D. (Elaboración propia)	88
Ilustración 49. Defecto de impresión Warping por ángulos rectos. (Elaboración propia)	88
Ilustración 50. Biela impresa en un solo modelo. (Elaboración propia)	89
Ilustración 51 Piezas con diferente textura dependiendo la orientación de impresión. (Elaboración propia)	89
Ilustración 52. Ejemplificación de piezas con detalles imprimibles (Letras grabadas). Obtenido de: [17] ...	89
Ilustración 53. Pieza impresa en impresora 3D con eje Z infinito. (Elaboración propia)	90
Ilustración 54 .Espiga con refuerzo en parámetros de grosor. (Elaboración propia)	90
Ilustración 55. Pieza impresa en voladizos sin soportes. (Elaboración propia)	90
Ilustración 56. Ejemplificación de partes colgantes impresas en 3D. (Elaboración propia)	91
Ilustración 57. Pieza impresa con 60% de relleno. (Elaboración propia)	91
Ilustración 58. Flecha impresa en 3D. Orientada para maximizar sus propiedades mecánicas. (Elaboración propia)	91
Ilustración 59. Pieza impresa con borde para evitar desprendimiento. (Elaboración propia)	92
Ilustración 60. Pieza impresa con agujeros y roscas necesarias. (Elaboración propia)	92
Ilustración 61. Piezas impresas con cuerdas estandarizada. (Elaboración propia)	93
Ilustración 62. Piezas impresas con tolerancias para poder ser impresas en una misma pieza. (Elaboración propia)	93
Ilustración 63 Pieza impresa con un 60% de relleno. (Elaboración propia)	94
Ilustración 64 "Estudio de empaque. Von Mises" (Elaboración propia)	97
Ilustración 65. "Estudio de empaque. Desplazamiento en Z". (Elaboración propia)	97
Ilustración 66. "Estudio de empaque. Coeficiente de seguridad" (Elaboración propia)	98
Ilustración 67. "Porta frasco, Diseño generativo". (Elaboración propia)	99
Ilustración 68 "Porta frasco, Von Mises" (Elaboración propia)	99
Ilustración 69. "Porta frasco, Desplazamiento". (Elaboración propia)	100
Ilustración 70. "Porta frasco, Coeficiente de seguridad". (Elaboración propia)	100
Ilustración 71. "Piñón, Von Mises". (Elaboración propia)	101
Ilustración 72. "Piñón, Desplazamiento". (Elaboración propia)	101
Ilustración 73. "Piñón, coeficiente de seguridad". (Elaboración propia)	102
Ilustración 74. "Cruz de Malta, Von Mises". (Elaboración propia)	103
Ilustración 75. "Cruz de malta, Desplazamiento". (Elaboración propia)	103



**DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN CLASIFICADOR DE INSECTOS AUTÓNOMO PARA EL
MONITOREO DE PLAGAS EN LA CITRICULTURA.**



Ilustración 76. "Cruz de malta, Coeficiente de seguridad". (Elaboración propia).....	104
Ilustración 77. "Flecha, tensión Von Mises". (Elaboración propia).....	105
Ilustración 78. "Flecha, coeficiente de seguridad". (Elaboración propia).....	105
Ilustración 79. "Biela, "Von Mises". (Elaboración propia).....	106
Ilustración 80. "Biela, Desplazamiento". (Elaboración propia).....	106
Ilustración 81. "Biela, Coeficiente de seguridad". (Elaboración propia).....	107
Ilustración 82. Prototipo fabricado. (Elaboración propia).....	108
Ilustración 83. Diagrama de conexión de potencia. (Elaboración propia).....	110
Ilustración 84 Conexión de bomba y válvulas solenoide. (Elaboración propia).....	111
Ilustración 85 Diagrama de conexión de sistema hidráulico. (Elaboración propia).....	111
Ilustración 86. Sistema de monitoreo de insectos en sus diferentes pruebas. (Elaboración propia).....	112
Ilustración 87. Gabinete de control de todo el sistema. (Elaboración propia).....	113
Ilustración 88. Contratiempos en instalación. (Elaboración propia).....	114
Ilustración 89. Instalación de Sistema de recolección de insectos. (Elaboración propia).....	114
Ilustración 90. Detalles del sistema de recolección de insectos. (Elaboración propia).....	115
Ilustración 91. Campo de visión del lente 6x6mm. (Elaboración propia).....	120
Ilustración 92. Sección transversal del sistema de inspección. (Elaboración propia).....	121
Ilustración 93 Esquema del sistema de muestreo de insectos. (Elaboración propia).....	124
Ilustración 94. Captura de pantalla de sistema de muestreo de insectos. (Elaboración propia).....	125
Ilustración 95 Prototipo de validación de plano inclinado. (Colaboración con: Valente Vázquez.).....	127
Ilustración 96 Diagrama de prototipo de plano inclinado. (Elaboración propia).....	128
Ilustración 97 Experimentación de laboratorio. (Elaboración propia).....	131
Ilustración 98. Pruebas experimentales y plano inclinado. (Elaboración propia).....	132
Ilustración 99 Diagrama de funcionamiento de filtro. (Elaboración propia).....	133
Ilustración 100. Instalación del filtro y resultados. (Elaboración propia).....	134
Ilustración 101. Propuesta inicial de rediseño del sistema de recolección de insectos. (Elaboración propia)	136
Ilustración 102 Sistema de recolección de insectos. (Elaboración propia).....	137



Lista de vocabulario.

- **INIFAP:** Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícola y Pecuarias
- **Trampa Rothamsted:** Se trata de una trampa de succión de aire para recolección de insectos voladores que está dispuesta generalmente por un tubo de aspiración de plástico de 25 cm de diámetro, que alcanza una altura de 12,20 m; va encajado a una cabina herméticamente cerrada de 3 m de altura, interior de la cabina y en su parte superior, el tubo de aspiración desemboca en la parte más ancha de un cono de red metálica en donde se recolectan muestras [18]
- **SENASICA:** Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria
- **PNMIP:** Programa Nacional de Manejo Integrado de Plagas
- **MIP:** Manejo integrado de plagas
- **IA:** Inteligencia Artificial
- **CAD:** Diseño Asistido por Computadora
- **CAM:** Manufactura Asistida por Computadora
- **CAE:** Ingeniería Asistida por Computadora
- **TRFSI-F8:** Prototipo para recolección de insectos precedente de este proyecto. Constaba de un revolver que contenía 8 frascos y se posicionaba de tal manera que pudiera recibir muestras.
- **Efecto Venturi:** Es un principio de la mecánica de fluidos que describe el comportamiento de un fluido cuando pasa por un conducto con un estrechamiento; Cuando el fluido se acerca al estrechamiento, su velocidad aumenta y su presión disminuye. [19]
- **Tensión de Von Mises:** La tensión de Von Mises es un criterio utilizado en ingeniería para determinar si un material bajo carga alcanzará el punto de fluencia, es decir, el punto en el que el material comenzará a deformarse plásticamente. Según este criterio, la deformación plástica comienza cuando la energía de distorsión, que está relacionada con las tensiones principales en el material, alcanza un valor crítico. [20]



Introducción

La industria de los cítricos desempeña un papel vital en el momento de proporcionar alimentos, ingresos además del empleo a nivel mundial. Sin embargo, los árboles de cítricos frecuentemente se enfrentan a amenazas constantes de plagas y enfermedades, que pueden causar daños importantes además de, reducir los rendimientos. El monitoreo, así como la detección temprana de estas plagas se vuelve una tarea esencial para implementar estrategias de control efectivas y minimizar los impactos negativos en los cultivos.

Actualmente, el seguimiento de las plagas de los cítricos se realiza principalmente de forma manual, lo que genera limitaciones en cuanto a eficiencia, precisión y costo. Por ello, es urgente desarrollar una solución tecnológica que permita un seguimiento más preciso como también más eficaz de las plagas que afectan a los cítricos.

Este proyecto tiene como objetivo desarrollar un sensor automático de clasificación de insectos, integrando tecnología avanzada de visión por computadora y sistemas mecatrónicos para analizar imágenes de insectos capturadas en el campo y proporcionar información confiable sobre la presencia de plagas en los cultivos de cítricos. Esta solución innovadora busca simplificar y mejorar significativamente el monitoreo de plagas, permitiendo a los agricultores tomar decisiones informadas y aplicar medidas de control más efectivas.

La implementación de este sistema de clasificación automatizado proporcionará a investigadores una herramienta eficaz y precisa para identificar y clasificar los insectos que amenazan sus cultivos. La información oportuna y confiable sobre la presencia de plagas facilitará la toma de decisiones y permitirá la aplicación de medidas de control adecuadas para proteger los cultivos de la misma manera que aumentar la productividad.

En este contexto, este trabajo tiene como base la importancia de la industria de los cítricos y los desafíos asociados con el control de plagas. A pesar de los métodos de seguimiento tradicionales, como la recolección de feromonas y el muestreo visual, existe claramente la necesidad de una solución más eficiente y precisa que pueda revolucionar este sector.

Para esta investigación tomaremos como referencia la trampa que instaló el INIFAP en Mococho, Yucatán, donde se recolectan muestras de insectos que por ahora son clasificadas manualmente. Nuestro proyecto pretende ser el primer paso hacia la automatización de este proceso, permitiendo una clasificación más eficiente, así como más precisa de las muestras recolectadas. Por lo tanto, el objetivo principal de este proyecto es desarrollar y producir un clasificador automático de insectos para monitorear y detectar plagas de cítricos.

A lo largo del proyecto, se explorarán diversas tecnologías y técnicas avanzadas, incluida la visión por computadora al igual que los componentes mecatrónicos, con el objetivo de proporcionar una solución flexible que se adapte a las necesidades cambiantes de los agricultores en diferentes entornos de cultivo de cítricos.



**DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN CLASIFICADOR DE INSECTOS AUTÓNOMO PARA EL
MONITOREO DE PLAGAS EN LA CITRICULTURA.**



Se requieren pruebas y validaciones exhaustivas para garantizar que el clasificador automático de insectos funcione de manera precisa. Se espera que este proyecto aporte mejoras significativas a la industria de los cítricos, permitiendo la detección temprana de plagas y estrategias de control más efectivas, protegiendo así tanto la salud como la productividad de los árboles de cítricos.



Antecedentes

La importancia de la industria agrícola con énfasis en los cítricos y los desafíos que enfrenta en términos de control de plagas representan los antecedentes de este trabajo. La citricultura es una actividad agrícola de gran relevancia a nivel mundial, ya que los cítricos son una fuente importante de alimentos, ingresos y empleo a nivel nacional e internacional.

Sin embargo, las plagas representan una amenaza significativa para los cultivos de cítricos, ya que pueden causar daños extensos y reducir la calidad y cantidad de la producción. El monitoreo y la detección temprana de plagas son fundamentales para implementar medidas de control efectivas y minimizar los impactos negativos en los cultivos.

Para monitorear insectos que podrían convertirse en plagas, es esencial capturar muestras en la zona geográfica correspondiente para su análisis posterior. Esto se realiza mediante trampas equipadas con recolectores de muestras. En este caso, se emplea una trampa de succión que aspira insectos a través de un tubo hacia un frasco de recolección para su estudio.

El dispositivo instalado en el Campo Experimental del INIFAP en Mococho, Yucatán, es una trampa de succión tipo Rothamsted. Esta trampa recolecta insectos sobre volando a una cierta altura sobre la superficie. Se caracteriza por un tubo de aspiración de 25 cm de diámetro y 12.2 m de altura, con una malla metálica en la parte superior para evitar el ingreso de especies más grandes, y una cabina herméticamente cerrada de 3 m de altura en la parte inferior, que contiene un extractor y un cono de red metálica, como se muestra en la Ilustración 1.

El funcionamiento de la trampa implica que el extractor succiona aire a través del tubo de aspiración. Cuando los insectos sobrevuelan el tubo, son aspirados hacia el cono de red metálica y caen en un frasco de recolección, donde posteriormente serán clasificados manualmente. Las especies recolectadas a menudo requieren observación a través de microscopios, ya que son difíciles de ver a simple vista. Esta labor de clasificación es repetitiva y propensa a errores, además de presentar problemas de salud para los investigadores que realizan observaciones diarias durante horas todas las semanas. En la Ilustración 2 podemos observar la trampa instalada en Mococho, Yucatán.

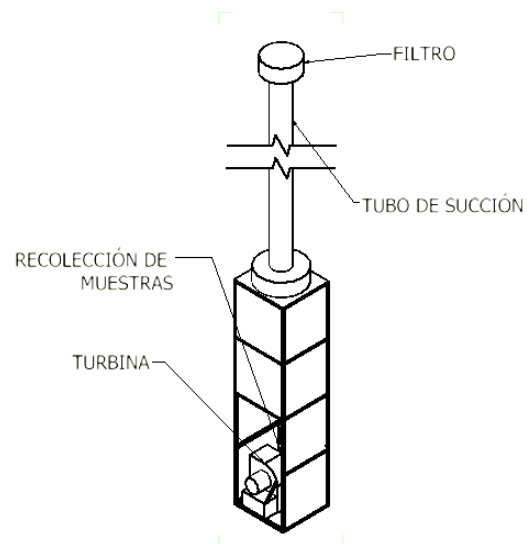


Ilustración 1. Diagrama de trampa Rothamsted instalada en Mococho, Yucatán. (Elaboración propia)



DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN CLASIFICADOR DE INSECTOS AUTÓNOMO PARA EL MONITOREO DE PLAGAS EN LA CITRICULTURA.



Es en este contexto donde surge la necesidad de desarrollar un clasificador de insectos autónomo que pueda realizar el monitoreo de plagas en la citricultura de manera eficiente y precisa. Los avances en tecnologías como la visión por computadora, el procesamiento de imágenes y los sistemas mecatrónicos ofrecen oportunidades prometedoras para abordar este desafío y mejorar las prácticas de control de plagas en la citricultura.

En este sentido, la presente investigación busca aprovechar estos avances tecnológicos para diseñar y fabricar un clasificador de insectos autónomo, que pueda analizar imágenes de insectos capturadas en el campo y proporcionar información confiable sobre la presencia de plagas. Este enfoque innovador tiene el potencial de agilizar y mejorar el monitoreo de plagas en la citricultura, permitiendo a los agricultores tomar decisiones informadas y adoptar medidas de control más efectivas.



Ilustración 2 Trampa Rothamsted instalada en Mococho, Yucatán. (Elaboración propia)



Objetivo

Diseñar y fabricar un clasificador de insectos autónomo que sea capaz de monitorear y detectar plagas en la citricultura. Este objetivo se busca alcanzar mediante la implementación de tecnologías avanzadas de visión por computadora y sistemas mecatrónicos, con el fin de proporcionar una herramienta eficiente y precisa para la identificación y clasificación de insectos en los cultivos de cítricos. El clasificador autónomo permitirá a los agricultores obtener información temprana y confiable sobre la presencia de plagas, lo que facilitará la toma de decisiones y la implementación de medidas de control adecuadas para proteger los cultivos y maximizar la producción.



Marco Teórico

Citricultura

La citricultura es una actividad agrícola de gran importancia a nivel mundial. Los cítricos, como naranjas, limones y mandarinas, son fuente de alimentos, ingresos económicos y generación de empleo en muchas regiones del mundo. Esta industria desempeña un papel crucial en la seguridad alimentaria y en la economía de numerosos países.

Sin embargo, la citricultura enfrenta diversos desafíos, siendo uno de los más significativos el control de plagas. Las plagas representan una amenaza constante para los cultivos de cítricos, ya que pueden causar daños extensos y afectar tanto la calidad como la cantidad de la producción. Estos insectos y organismos dañinos pueden debilitar los árboles, causar defoliación, transmitir enfermedades y reducir el rendimiento de los frutos. El control de plagas en la citricultura es esencial para minimizar las pérdidas económicas y garantizar la sostenibilidad del sector. Algunos de los desafíos más comunes que se enfrentan en el control de plagas incluyen:

- Resistencia de las plagas: Algunas especies de plagas desarrollan resistencia a los productos químicos utilizados para su control, lo que dificulta su eliminación y requiere el desarrollo de enfoques alternativos.
- Diversidad de plagas: Existen numerosas especies de insectos y organismos dañinos que pueden afectar a los cultivos de cítricos. Cada una de estas plagas puede requerir estrategias de control específicas.
- Impacto ambiental: Muchos de los métodos tradicionales de control de plagas, como el uso de pesticidas, pueden tener impactos negativos en el medio ambiente, incluyendo la contaminación del suelo y el agua, y la afectación de la biodiversidad.
- Regulaciones y estándares: Los agricultores de cítricos deben cumplir con regulaciones y estándares cada vez más estrictos en cuanto al uso de pesticidas y prácticas agrícolas sostenibles, lo que puede representar un desafío adicional para el control de plagas.

Para abordar estos desafíos, es fundamental implementar estrategias de control de plagas integradas y sostenibles en la citricultura. Esto implica combinar múltiples enfoques, como la implementación de prácticas de manejo cultural, el uso de control biológico, el monitoreo regular de plagas y el uso responsable de productos químicos.

La investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías, como el clasificador de insectos autónomo que se está proponiendo, pueden jugar un papel crucial en el mejoramiento del control de plagas en la citricultura. Estas soluciones innovadoras pueden proporcionar herramientas más eficientes, precisas y respetuosas con el medio ambiente para detectar, monitorear y controlar las plagas, ayudando a proteger los cultivos y a garantizar la seguridad y calidad de los productos cítricos.



Según un informe del Servicio de información agroalimentaria y pesquera [1], los principales estados productores de naranja en México son Veracruz, Tamaulipas, y San Luis Potosí. Veracruz es el mayor productor, con una producción anual de más de 2 millones de toneladas. Le sigue Tamaulipas, que produce alrededor de 688,237 toneladas, y San Luis Potosí con una producción de aproximadamente 376,613 toneladas. Otros estados importantes en la producción de naranja incluyen Puebla y Yucatán, que también contribuyen significativamente a la producción nacional. Esto se puede apreciar en la Ilustración 3.

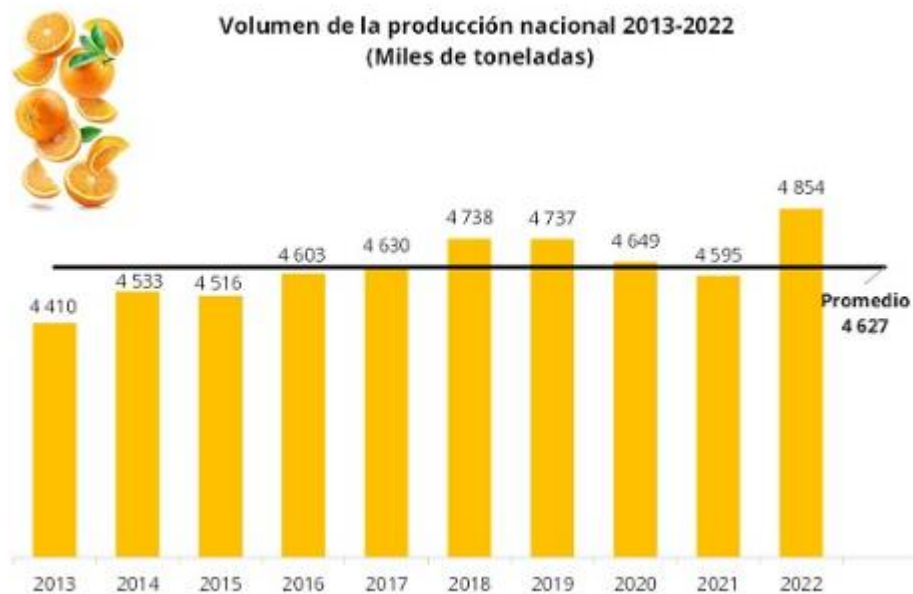


Ilustración 3. Tabla de volumen de producción de naranja en México. Obtenido de: [2]

Según datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [1] en México, la producción de cítricos ha experimentado un crecimiento constante en los últimos años, esto a tal grado que la cosecha de naranja genera excesos de producción para su exportación a diferentes países, en 2022 exportó 82 mil toneladas y adquirió 28 mil toneladas de cítricos, de ahí la importancia a nivel nacional de mantener una especial atención en el monitoreo de plagas.

En cuanto al control de plagas en la citricultura mexicana, existen varias especies de insectos y organismos dañinos que representan desafíos significativos. Por ejemplo, el pulgón amarillo de los cítricos (*Toxoptera citricida*) y la mosca de la fruta (*Anastrepha spp.*) son considerados plagas importantes en los cultivos de cítricos en México.

El control de plagas en la citricultura mexicana se lleva a cabo mediante una combinación de métodos, incluyendo el uso de pesticidas, el control biológico, el manejo cultural y la implementación de buenas prácticas agrícolas. Es importante destacar que la adopción de prácticas de manejo integrado de plagas (MIP) está ganando terreno en México como enfoque sostenible para el control de plagas en la citricultura [3].



Control de plagas:

El control de plagas voladoras en la citricultura es esencial para proteger los cultivos de cítricos de daños causados por insectos y organismos voladores. Algunas de las plagas voladoras comunes en los cultivos de cítricos incluyen:

- Mosca de la fruta (*Anastrepha* spp.):

La mosca de la fruta es una plaga voladora que deposita sus huevos en los frutos, lo que puede causar daños significativos y provocar la pérdida de calidad y cantidad de la producción. Para su control, se utilizan trampas con atrayentes específicos para capturar las moscas adultas y reducir su población. También se implementan métodos de control biológico utilizando parasitoides naturales que se alimentan de las larvas de las moscas de la fruta. [4]

- Pulgón amarillo de los cítricos (*Toxoptera citricida*):

Aunque el pulgón amarillo de los cítricos no es una plaga voladora en sí misma, se transmite a través de insectos voladores, como pulgones alados o hormigas. Para su control, se utilizan productos químicos específicos y se promueve la adopción de prácticas de manejo cultural, como la eliminación de malas hierbas hospedantes y la implementación de barreras físicas para evitar la propagación de la plaga. [4]

- Trips (*Frankliniella* spp.):

Los trips son pequeños insectos voladores que se alimentan de la savia de los árboles cítricos y pueden causar daños en los brotes y flores, afectando el desarrollo de los frutos. Para controlar los trips, se pueden utilizar trampas adhesivas de color azul o amarillo para capturar a los adultos, y enfoques de control biológico utilizando enemigos naturales, como ácaros depredadores. [4]

El control de plagas voladoras en la citricultura implica una combinación de métodos, incluyendo la aplicación de productos químicos específicos, el uso de trampas y atrayentes, la implementación de prácticas de manejo cultural y el control biológico. El monitoreo regular de las poblaciones de plagas voladoras es esencial para detectar su presencia temprana y tomar medidas de control oportunas, evitando así daños extensos en los cultivos y maximizando la producción de cítricos. En la ilustración 4 se observa uno de estos métodos que tratan de la liberación de moscas estériles.



Ilustración 4. Centro de Empaque de Maduración y Liberación de Moscas de la Fruta Estériles. Obtenido de [5].



En México, la citricultura es una actividad agrícola de gran importancia, especialmente en los estados de Veracruz, Tamaulipas, Michoacán, San Luis Potosí y Yucatán. Estos estados tienen condiciones climáticas favorables que permiten el cultivo de diversas variedades de cítricos [5].

Según el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) en México, se estima que la mosca de la fruta causa pérdidas económicas anuales de alrededor de 400 millones de dólares en el sector citrícola.

Para combatir esta plaga, se implementa el Programa Nacional de Manejo Integrado de Plagas (PNMIP), el cual incluye medidas de control cultural, biológico y químico. Estas medidas se enfocan en la erradicación de huertos afectados, la aplicación de atrayentes y trampas para capturar las moscas adultas, así como la liberación de enemigos naturales, como parasitoides, para controlar las poblaciones de larvas [5].

Es importante destacar que la adopción de prácticas de manejo integrado de plagas (MIP) está ganando terreno en México como enfoque sostenible para el control de plagas en la citricultura, esta se basa en la combinación de diferentes estrategias de control, con el objetivo de reducir el uso de productos químicos y minimizar los impactos ambientales.

Monitoreo temprano de plagas.

El monitoreo temprano de plagas es una práctica esencial en la agricultura y la citricultura, que consiste en la detección anticipada de la presencia de plagas y enfermedades en los cultivos antes de que causen daños significativos. Esta técnica tiene como objetivo permitir a los agricultores tomar medidas preventivas o correctivas de manera oportuna para minimizar el impacto negativo en la producción de cultivos.

Según un boletín de plagas de los cítricos reconocimiento y manejo [6], el monitoreo temprano de plagas en la agricultura y la citricultura es una práctica de suma importancia que reviste numerosos beneficios. En primer lugar, contribuye significativamente a la reducción de pérdidas económicas en la producción agrícola. Las plagas y enfermedades pueden causar daños considerables a los cultivos, lo que se refleja en pérdidas financieras para los agricultores. Sin embargo, cuando se detectan a tiempo mediante un monitoreo adecuado, es posible prevenir daños adicionales y proteger los rendimientos y los ingresos agrícolas.

Un segundo aspecto fundamental es la sostenibilidad agrícola, permite la implementación de estrategias de control más selectivas y sostenibles. Esto conduce a utilizar métodos de control que sean menos dañinos para el medio ambiente, lo que reduce la dependencia de pesticidas químicos. Esta práctica es necesaria para preservar la salud del suelo y el equilibrio ecológico en los campos de cultivo a largo plazo. [6]

La seguridad alimentaria es otro pilar importante; garantizar el suministro de alimentos de alta calidad y seguros es esencial para la salud pública. Al detectar y controlar a tiempo las plagas y enfermedades, se evita que productos agrícolas contaminados o dañados lleguen al mercado, lo



que a su vez contribuye a mantener la seguridad alimentaria y proteger la salud de los consumidores.

Además, el monitoreo temprano tiene un impacto positivo en la reducción del impacto ambiental de la agricultura ya que disminuyen la cantidad de pesticidas químicos utilizados en la agricultura, lo que beneficia la biodiversidad y promueve un equilibrio ecológico más saludable en los campos de cultivo.

Por otro lado, en términos económicos, también conlleva una reducción de los costos de producción para los agricultores. Al aplicar medidas de control únicamente cuando sea necesario, se evitan gastos innecesarios en productos químicos y se alivia la carga financiera de los productores. [6]

Esta prevención no solo beneficia a nivel individual, sino que también contribuye a la prevención de epidemias de plagas. Algunas plagas pueden propagarse rápidamente y afectar amplias áreas de cultivo, lo que puede tener un impacto devastador en una región agrícola. Detectar y controlar plagas en sus etapas iniciales ayuda a prevenir la propagación de epidemias y proteger toda la industria agrícola.

La identificación temprana de plagas promueve prácticas de Manejo Integrado de Plagas (MIP), que se basan en la combinación de diferentes técnicas de control para mantener las poblaciones de plagas en niveles bajos que no causen daños económicos. El monitoreo es el primer paso en este enfoque, permitiendo la toma de decisiones informadas sobre las estrategias de control. [6]

Existen varias técnicas de monitoreo, que van desde la observación visual de las plantas hasta el uso de trampas específicas para insectos. Algunos agricultores también recurren a la tecnología, como cámaras de vigilancia y sensores, para realizar un monitoreo más eficiente y preciso. A continuación, se muestran algunos tipos de estas técnicas utilizadas.

- **Observación Visual:** Los agricultores y técnicos observan las plantas en busca de signos de daño, enfermedad o la presencia de insectos. Esto puede incluir la revisión de hojas, frutos y la observación de síntomas como manchas, deformidades o excrementos de plagas.
- **Trampas:** Se utilizan trampas específicas para atraer y capturar plagas. Las trampas de feromonas emiten sustancias químicas que atraen insectos específicos. Las trampas pegajosas capturan insectos en vuelo, mientras que las trampas de color atraen insectos por sus preferencias visuales.
- **Sensores y Tecnología Avanzada:** La tecnología moderna, como cámaras de vigilancia y sensores, se utiliza para el monitoreo automático de plagas. Estos sistemas pueden detectar cambios en la salud de las plantas y alertar a los agricultores sobre problemas potenciales. [7]

Estas técnicas deben contar con una frecuencia de monitoreo que varía según la plaga, el cultivo y las condiciones locales. En algunos casos, se puede llevar a cabo diariamente,



semanalmente o en intervalos más largos, dependiendo de la amenaza potencial. La frecuencia de monitoreo se refiere a la regularidad con la que se observan y registran datos sobre plagas, enfermedades o condiciones específicas en un cultivo. Aspectos como el tipo de plaga, la estación del año, el cultivo en cuestión, el historial de problemas y los umbrales de daño económico influyen en la determinación de esta frecuencia.

En nuestro prototipo de clasificador de insectos para la citricultura, es fundamental considerar la frecuencia de monitoreo, ya que un monitoreo constante y oportuno es esencial para detectar plagas en etapas tempranas, lo que permite una acción de control efectiva. Esto garantizará la protección de los cultivos y la minimización de daños económicos, alineándose con los objetivos de ofrecer una herramienta precisa y eficiente para la detección y clasificación de plagas en los cítricos. [7]



Ilustración 5. Trampa pegajosa para insectos voladores utilizada por INIFAP. (Elaboración propia)

Una vez recabada la información de los monitoreos los respectivos profesionales toman decisiones fundamentadas en el proceso de monitoreo agrícola a través de un enfoque cuidadoso y sistemático. En primer lugar, la recopilación constante de datos sobre la salud de los cultivos, la presencia de plagas y las condiciones ambientales es esencial. Estos datos son analizados en busca de patrones y tendencias que pueden proporcionar información valiosa sobre la situación en el campo. En la ilustración 5 podemos observar una forma en la que los investigadores del INIFAP realizan monitoreos con trampas pegajosas.

Una vez que se han analizado los datos, los investigadores establecen umbrales críticos que indican cuándo es necesario tomar medidas de control. Estos umbrales se basan en el tipo de plaga, el cultivo y la evaluación de riesgos. Si se superan estos umbrales, se activa una respuesta de control para mitigar la amenaza potencial a los cultivos.

La selección de estrategias de control se basa en una evaluación completa de los datos y de los riesgos asociados con la presencia de plagas. Los investigadores consideran factores económicos, medioambientales y de seguridad alimentaria al elegir las estrategias más adecuadas. Esto puede implicar la implementación de prácticas de Manejo Integrado de Plagas (MIP) que se centran en métodos sostenibles y efectivos.



La implementación de las medidas de control es un paso crítico en el proceso. Dependiendo de la situación, esto podría incluir la aplicación de pesticidas selectivos, la introducción de enemigos naturales de las plagas, la modificación de prácticas agrícolas, o una combinación de enfoques. Los investigadores supervisan de cerca la aplicación y evalúan su eficacia a lo largo del tiempo.

El seguimiento y la evaluación continuos son esenciales para determinar si las medidas de control han sido efectivas. Se recopilan datos adicionales para evaluar si las poblaciones de plagas han disminuido y si los cultivos están siendo protegidos de manera adecuada. Si es necesario, los investigadores ajustan las estrategias de control para abordar cualquier desafío inesperado.

La toma de decisiones basada en datos es un proceso continuo a lo largo de la temporada de cultivo. Los investigadores están constantemente vigilando la situación en el campo y adaptando sus estrategias según sea necesario. Esta aproximación informada y adaptable permite maximizar la producción agrícola y minimizar los riesgos asociados con las plagas, promoviendo una agricultura más eficiente y sostenible.

Las decisiones basadas en datos no solo se enfocan en la respuesta inmediata a las plagas, sino que también implica una perspectiva a largo plazo. Los investigadores evalúan cómo las estrategias de control afectan no solo la situación actual, sino también la salud a largo plazo del ecosistema agrícola. Esto puede incluir la consideración de posibles impactos ambientales, como la preservación de enemigos naturales beneficiosos o la reducción de la dependencia de pesticidas.

Además, es fundamental para la implementación de prácticas agrícolas sostenibles. Al monitorear y evaluar de manera constante, los profesionales pueden identificar tendencias a lo largo de múltiples temporadas de cultivo y ajustar sus estrategias para lograr una gestión más eficaz y sostenible de plagas y enfermedades.

Nuestro prototipo clasificador de insectos para la citricultura tiene como objetivo que la toma de decisiones basada en datos desempeñe un papel crucial al ayudar en el monitoreo y la detección temprana de plagas que se traducen en información confiable y oportuna que permite a los agricultores tomar medidas preventivas o correctivas adecuadas.

Aprendizaje automático y clasificación de insectos

El aprendizaje automático, también conocido como “*Machine Learning*”, es un campo de la inteligencia artificial que se enfoca en el desarrollo de algoritmos y modelos computacionales que permiten a las máquinas aprender y mejorar su rendimiento a partir de datos sin ser programadas explícitamente. La Universidad de Stanford define el aprendizaje automático como

“El campo que se dedica al desarrollo de algoritmos que permiten a las computadoras aprender y hacer predicciones o tomar decisiones basadas en datos. Este proceso implica mejorar automáticamente a través de la experiencia sin ser programados explícitamente para cada tarea específica” [8].



El aprendizaje automático se ha utilizado en una amplia gama de aplicaciones, incluyendo la clasificación de objetos y seres vivos, como los insectos.

La clasificación de insectos es un desafío importante en diversos campos, como la entomología, la agricultura y la biología. Tradicionalmente, la clasificación de insectos se ha realizado manualmente por expertos, lo que puede ser un proceso laborioso y propenso a errores. Sin embargo, con los avances en el aprendizaje automático y la visión por computadora, se han desarrollado métodos automatizados para la clasificación de insectos basados en el análisis de imágenes. En la Ilustración 6 se observa cómo se realiza una clasificación de insectos manual, es una tarea extenuante y que llega a durar muchas horas, todos los días.



Ilustración 6 Investigadores de INIFAP analizando muestras de insectos. (Elaboración propia)

Uno de los enfoques más comunes utilizados en el aprendizaje automático para la clasificación de insectos es el aprendizaje supervisado. En este enfoque, se entrena un modelo utilizando un conjunto de datos etiquetados, es decir, imágenes de insectos previamente clasificadas por expertos. El modelo aprende a reconocer patrones y características distintivas en las imágenes que permiten diferenciar entre diferentes especies de insectos.

Algunas técnicas utilizadas en el aprendizaje automático para la clasificación de insectos incluyen:

- Extracción de características

Antes de alimentar las imágenes al modelo de aprendizaje automático, se extraen características relevantes de las imágenes, como la forma, el color o las texturas. Estas características se utilizan como entradas para el modelo.

- Redes neuronales convolucionales (CNN):

“Las redes neuronales son un subconjunto del aprendizaje automático, y están en el centro de los algoritmos de aprendizaje profundo. Están compuestas de capas de nodos, que contienen una capa de entrada, una o más capas ocultas y una capa de salida. Cada nodo se conecta a otro,



y tiene un peso y umbral asociados. Si la salida de cualquier nodo individual está por encima del valor del umbral especificado, ese nodo se activa y envía datos a la siguiente capa de la red. De lo contrario, no se pasa ningún dato a la siguiente capa de la red.” [9]

- Aprendizaje profundo:

“El Deep Learning es un concepto que surge de la idea de imitar el cerebro a partir del uso de hardware y software, para crear una inteligencia artificial pura, utilizando una capacidad de abstracción jerárquica, es decir, una representación de los datos de entrada en varios “niveles”, en el caso de las RNA, en varias capas, para seleccionar características que son útiles para el aprendizaje; de esta manera, una característica de un nivel de complejidad más alto será aprendido de una de un nivel de complejidad más bajo.” [10]

Como se puede apreciar el aprendizaje automático ha revolucionado la clasificación de insectos al permitir el desarrollo de modelos automatizados que pueden aprender a reconocer patrones y características en las imágenes. Esta tecnología ofrece oportunidades prometedoras para mejorar la precisión y eficiencia en la clasificación de insectos, lo que tiene implicaciones importantes en diversos campos, incluyendo la entomología, la agricultura y la conservación de la biodiversidad.

Metodología de diseño Sprint

La metodología de Diseño Sprint es un enfoque estructurado y colaborativo que se utiliza para diseñar y desarrollar soluciones innovadoras en un corto período de tiempo. Esta metodología, popularizada por Jake Knapp en su libro "Sprint" [11], se basa en principios de diseño Thinking, prototipado rápido y validación con usuarios reales. Según el blog "UXABLES" [12], se presenta una descripción de los pasos principales de un Diseño Sprint adaptado a la creación de una solución para el monitoreo y control de plagas en la citricultura:

- Definir el reto: El equipo de diseño debe comprender claramente el desafío a abordar, en este caso, el monitoreo y control de plagas en la citricultura. Se debe definir el objetivo del sprint y establecer los criterios de éxito.
- Mapeo del flujo de trabajo: El equipo identifica y analiza el flujo de trabajo actual relacionado con el monitoreo y control de plagas en la citricultura. Se identifican las etapas clave, los actores involucrados y los puntos de deficientes o áreas de mejora.
- Generación de ideas: El equipo realiza una lluvia de ideas para generar una amplia gama de posibles soluciones. Se alienta la creatividad y se fomenta la participación de todos los miembros del equipo.
- Selección de soluciones: El equipo revisa y evalúa las ideas generadas, considerando su viabilidad técnica y su potencial impacto en el monitoreo y control de plagas en la citricultura. Se selecciona la solución más prometedora para desarrollarla en el sprint.



DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN CLASIFICADOR DE INSECTOS AUTÓNOMO PARA EL MONITOREO DE PLAGAS EN LA CITRICULTURA.



- **Prototipado:** Se crea un prototipo rápido de la solución seleccionada. En el caso del monitoreo y control de plagas en la citricultura, esto puede implicar el diseño de una interfaz de usuario, la implementación de algoritmos de clasificación de insectos y la integración de tecnologías de sensores y comunicación.
- **Pruebas con usuarios:** Se llevan a cabo pruebas con usuarios reales para obtener retroalimentación sobre el prototipo. Esto ayuda a identificar posibles mejoras y validar la eficacia de la solución propuesta.
- **Iteración y refinamiento:** Basándose en los resultados de las pruebas con usuarios, el equipo realiza iteraciones y ajustes en el diseño de la solución. Se repiten las pruebas y las iteraciones hasta que se alcance una solución satisfactoria.

Es importante destacar que la duración de un Diseño Sprint puede variar, pero generalmente se lleva a cabo en un período de una semana a un mes, dependiendo de la complejidad del desafío y los recursos disponibles.

La metodología de Diseño Sprint es altamente colaborativa y se enfoca en la toma de decisiones rápidas y en la creación de prototipos funcionales para validar ideas. Es una forma eficiente de abordar desafíos complejos y desarrollar soluciones innovadoras, en este caso, para el monitoreo y control de plagas en la citricultura.



Capítulo 1. Diseño conceptual.

El diseño y construcción de un sistema como el que proponemos, un clasificador de insectos autónomo para la detección de plagas en la citricultura es una tarea compleja que involucra múltiples enfoques y tecnologías interactuando entre sí. Dada la magnitud y la diversidad de desafíos que presenta resulta fundamental dividir el proyecto en sistemas más pequeños para lograr un desarrollo de diseño más efectivo. Cada uno de estos sistemas aborda aspectos específicos del proyecto y permite un enfoque detallado en cada área clave.

En este capítulo de "Diseño Conceptual," exploraremos en detalle 3 de los sistemas fundamentales que componen el clasificador de insectos autónomo:

- Sistema de Transporte de Insectos
- Sistema de Muestreo de Insectos
- Sistema de Recolección de Insectos

Cada uno de estos sistemas es esencial para el funcionamiento exitoso del dispositivo en su conjunto y aborda desafíos particulares en la recolección, el transporte y el análisis de datos relacionados con insectos en los cultivos de cítricos.

A medida que avanzamos en este capítulo, analizaremos los conceptos clave, los componentes, y las estrategias específicas necesarios para cada sistema. Esto nos proporcionará una comprensión profunda de su importancia y funcionamiento dentro del contexto global del proyecto, y cómo estos subsistemas interactúan y se complementan mutuamente para lograr el completar el objetivo de proporcionar a los agricultores una herramienta eficiente y precisa para la identificación y clasificación de plagas en sus cultivos de cítricos.

Este proyecto se basó en el enfoque de la metodología Sprint, un proceso que normalmente dura unos cuantos días y reúne a expertos de diferentes áreas para crear prototipos y probar ideas. El objetivo es avanzar de manera rápida y efectiva, teniendo en cuenta las necesidades de los usuarios finales. Sin embargo, debido a ciertas limitaciones, como el trabajo a distancia entre los investigadores, que se encuentran en el centro de investigación INIFAP en Mococho, Yucatán, y un equipo pequeño consolidado por integrantes del IMASS en la CDMX; así como otras condiciones como los recursos limitados para fabricación, restricciones de tiempo y otras consideraciones, no fue posible seguir la metodología al pie de la letra. En su lugar, adaptamos la metodología a nuestras circunstancias, manteniendo su estructura general.



DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN CLASIFICADOR DE INSECTOS AUTÓNOMO PARA EL MONITOREO DE PLAGAS EN LA CITRICULTURA.



Para llevar a cabo este proyecto, establecimos una misión y objetivos claros y específicos del proyecto que nos ayudaron a definir el alcance del trabajo y comprender las necesidades de los usuarios finales.

Proyecto:	Diseño y fabricación de un clasificador de insectos autónomo para el monitoreo de plagas en la citricultura
Declaración de la misión:	Diseñar y construir un sistema de clasificación de insectos con IA (Inteligencia artificial) para reconocimiento de imágenes
Descripción del Producto	Sistema de recolección de pruebas de insectos para su clasificación con inteligencia artificial
Propuesta de valor	Podrá clasificar de manera automática los insectos que sean recolectados.
Metas clave del proyecto	Entregar un prototipo funcional al término del proyecto. Desarrollarlo con buen manejo del tiempo y aplicar las técnicas de CAD, CAE y CAM. Tener una buena optimización de recursos.
Mercado primario	INIFAP.
Mercados secundarios	Agricultores de cítricos
Suposiciones	No existe una patente. Se parte del diseño actual desarrollado en el laboratorio (TRFSI-FI).
Involucrados	IIMAS, INIFAP, director: Víctor Lomas, Equipo de trabajo Departamento de Diseño, IIMAS.

Tabla 1. Definición del proyecto.

Una vez definida la misión y los objetivos del proyecto, se llevó a cabo una exhaustiva investigación con el fin de comprender las necesidades de los usuarios y garantizar que el sistema se adapte a sus requerimientos, cumpliendo con los objetivos establecidos. Para recopilar estas necesidades esenciales, se administró una encuesta a profesionales de diversas disciplinas, incluyendo ingenieros mecánicos, electrónicos, investigadores en biología y fitopatología, así como un matemático. Esta diversidad de perspectivas enriqueció el proceso de recopilación de información. A continuación, se muestran algunas de las respuestas de la encuesta realizada a los diferentes expertos.



DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN CLASIFICADOR DE INSECTOS AUTÓNOMO PARA EL MONITOREO DE PLAGAS EN LA CITRICULTURA.



¿Cual consideras que son las 3 necesidades mas importantes del proyecto?

6 respuestas

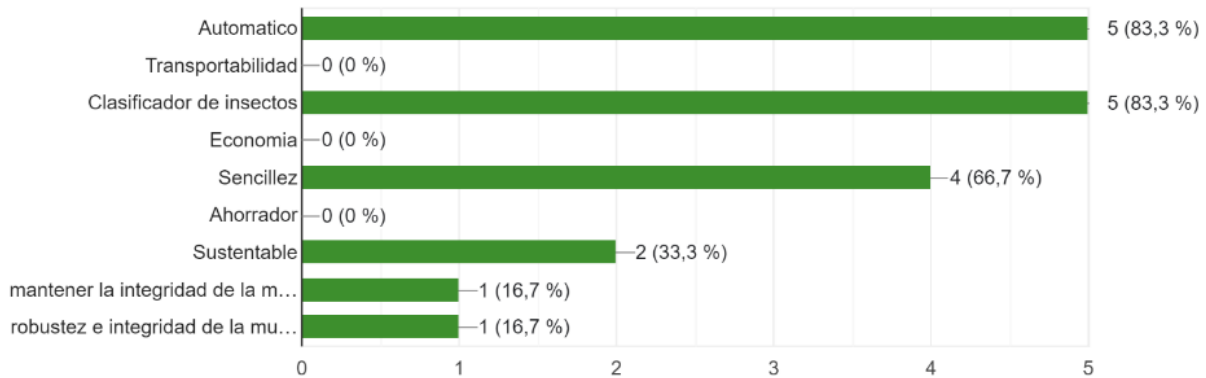


Ilustración 7. Resultados de las 3 necesidades más importantes. (Elaboración propia)

Una vez que identificamos y comprendimos las necesidades primordiales que debíamos abordar en nuestro sistema, procedimos a asignar prioridades a cada una de ellas, de acuerdo con las indicaciones y retroalimentación proporcionada por los usuarios. A través de este proceso, pudimos observar y analizar los siguientes resultados de manera sistemática y formal.

Necesidades que debe cumplir el clasificador de insectos:			
No.		Necesidades	Importancia
1	El dispositivo debe	De ser automático	1
2	El dispositivo debe	de ser transportable	5
3	El dispositivo debe	cumplir con la clasificación de insectos	1
4	El dispositivo debe	ser económico.	5
5	El dispositivo debe	con poca interacción humana	3
6	El dispositivo debe	Lo más sencillo posible	2
7	El dispositivo debe	ser ahorrador	5
8	El dispositivo debe	Sustentable	4
9	El dispositivo debe	Mantener la integridad de las muestras	1

Tabla 2. Necesidades que debe satisfacer el proyecto (1-Muy importante 5-de poca relevancia).

Una vez que identificamos las necesidades fundamentales del proyecto, procedimos a establecer una serie de especificaciones que nuestro sistema debía cumplir. A través de este proceso,



logramos recopilar y analizar los siguientes datos, que proporcionan una guía precisa para el desarrollo y diseño del sistema.

Requerimientos que debe cumplir el sensor					
Ponderación	Necesidad	Métrica	Unidades	Valor marginal	Valor Ideal
1	Automático	Retroalimentación	Veces	8	0
8	Transportable	Dimensiones	mm	400x400x400	400x400x400
2	Clasificador	Tipos	Cantidad	0	5
7	Económico	Costo	\$	--	--
4	Independiente	Interacciones	Veces	10	0
3	Sencillo	GDL	Cantidad	6	3
6	Ahorrador	Energía	W	3W	3W
5	Ecológico	Tipo	Material	PLA	PETG

Tabla 3. Requerimientos por alcanzar en el proyecto con ponderación.

A través de una serie de bocetos con diversos diseños conceptuales, se presentaron una variedad de ideas a los expertos. Cada uno de estos bocetos representaba enfoques distintos para el proyecto. El propósito de esta presentación era que los expertos evaluaran y destacaran las mejores características de cada diseño, lo que nos permitiría combinar estas cualidades destacadas para crear un diseño conceptual consolidado que incorporara lo mejor de cada boceto. De esta manera buscábamos aprovechar la experiencia y el juicio de los expertos para crear una solución integral y eficaz que reuniera lo más destacado de nuestras propuestas iniciales. Mas adelante podremos observar los resultados obtenidos en cada uno de los sistemas.

Sistema de transporte de insectos

En esta sección, exploraremos uno de los sistemas clave del proyecto: el Sistema de Transporte de Insectos. Este sistema desempeña un papel fundamental en el proceso de monitoreo y detección de plagas en la citricultura, ya que se encarga de la recepción de las muestras de insectos, su transporte desde el campo hacia la zona de observación y, finalmente, su llegada a la sección de recolección de muestras. Para desarrollar este sistema de manera efectiva,



se presentaron esta serie de bocetos conceptuales a los expertos como se mencionó anteriormente. Cada boceto propone soluciones únicas y características distintivas. En esta sección, examinaremos detenidamente estos bocetos, destacando las diversas consideraciones y criterios proporcionados por los expertos durante la evaluación de los diseños. Estas aportaciones son esenciales para la creación de un diseño final que cumpla con los estándares de eficiencia y precisión necesarios para el monitoreo de plagas en los cultivos de cítricos.

A continuación, se presentan las siguientes propuestas de configuración, todas y cada una de ellas muestran cuatro procesos indispensables para la realización de este proyecto:

- Zona de llenado de solución: En esta zona cada uno de los compartimientos se llenan con un fluido compuesto por alcohol etílico, agua y otros ingredientes que rompen la tensión superficial del agua y hacen que los insectos caigan y se preserven.
- Zona de obtención de muestras: En esta zona los insectos atrapados por el sensor van cayendo en el fluido siendo este el que preserva las muestras.
- Zona de clasificación: En esta zona las muestras obtenidas en el paso anterior son visualizadas por una cámara que realizara un escaneo de las muestras para que con (IA) se pueda realizar una clasificación en tiempo real de la muestra.
- Zona de descarga: En esta zona las muestras que ya han sido catalogadas salen de este sistema, sin embargo, no se desechan las muestras si no que se deben de guardar en frascos que se irán cambiado cada cierto tiempo.

A pesar de que esos son los procesos indispensables del prototipo se pueden realizar una gran cantidad de configuración que pueden resolver esta tarea, de las cuales pudimos encontrar las siguientes propuestas:

Diseño Conceptual 1: Compuerta

Ventajas

- Diseño sencillo
- Alta autonomía
- 2/3 GDL (Sistema cartesiano)
- Limpieza forzado

Desventajas

- Depende de la limpieza del vidrio (podría haber calcificación)

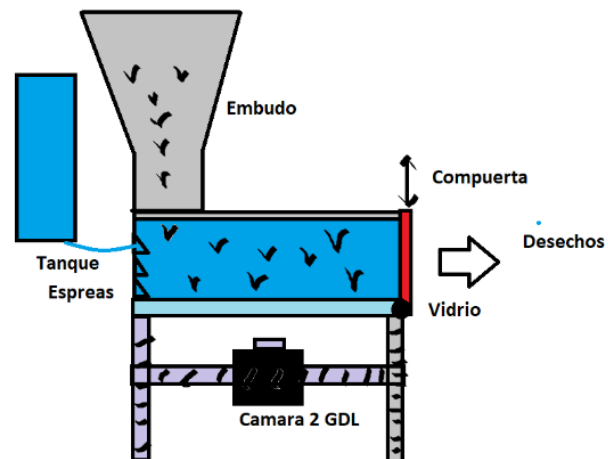


Ilustración 8. Boceto de Diseño conceptual 1. (Elaboración propia)



- Constante limpieza o cambio del vidrio
- Cambio de empaques de la compuerta

Diseño Conceptual 2: Rotacional

Ventajas

- Diseño compacto
- Diseño seccionado
- 2/3 GDL (Sistema polar)
- Reemplazo del sistema rotacional TRSFI-F8

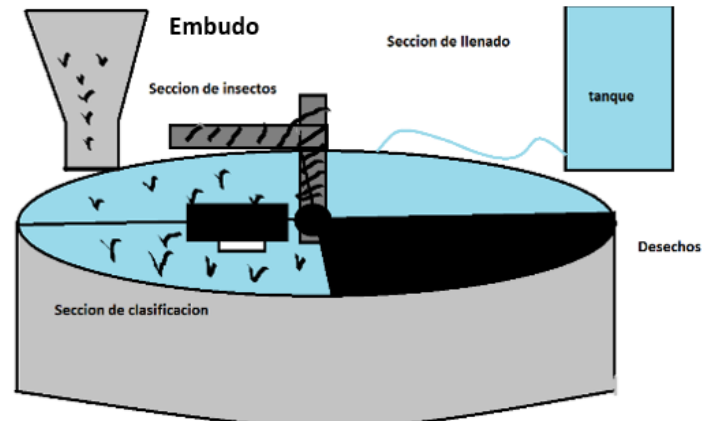


Ilustración 9. Boceto diseño conceptual 2. (Elaboración propia)

Desventajas

- Diseño levemente más complejo
- Reemplazo de empaques

Diseño Conceptual 3: Tornillo de Arquímedes

Ventajas

- Diseño sencillo
- 2GDL (cartesiano)
- 2 procesos

Desventajas

- Posibilidad de que quedaran pegados los insectos a las paredes.
- La geometría puede afectar un poco la visibilidad de la cámara.

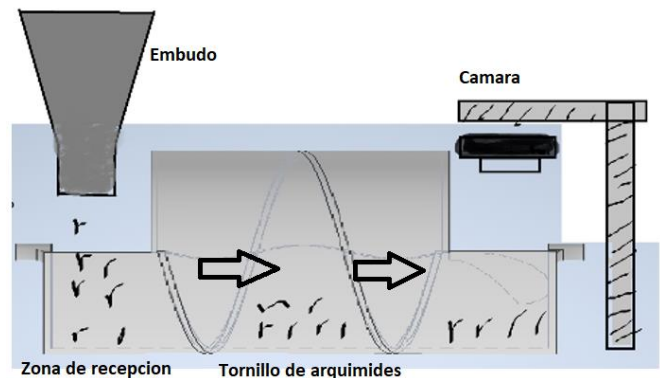


Ilustración 10. Boceto de diseño conceptual 3. (Elaboración propia)

Diseño Conceptual 4: Rotación dual

Ventajas

- Zona de visualización pequeña
- 2 grado de libertad (x, z) (cámara)
- Planeación moderada

Desventajas

- Se necesitan comprobación de insectos muertos
- Rotación continua (gasto energético y de componentes)
- Utilización de empaques en desfogue
- Monitorización continua.

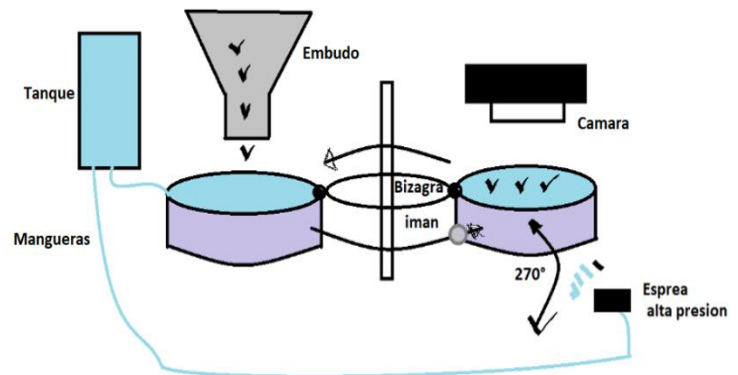


Ilustración 11. Boceto de diseño conceptual 4. (Elaboración propia)

Diseño Conceptual 5: Monitorización Continua

Ventajas

- Ranurados pequeños de aproximadamente 1.5cm*1.5cm
- 1 grado de libertad (z)
- Monitorización continua.

Desventajas

- Se necesitan comprobación de insectos muertos.
- Rotación continua (gasto energético y de componentes)
- Utilización de empaques en desfogue.

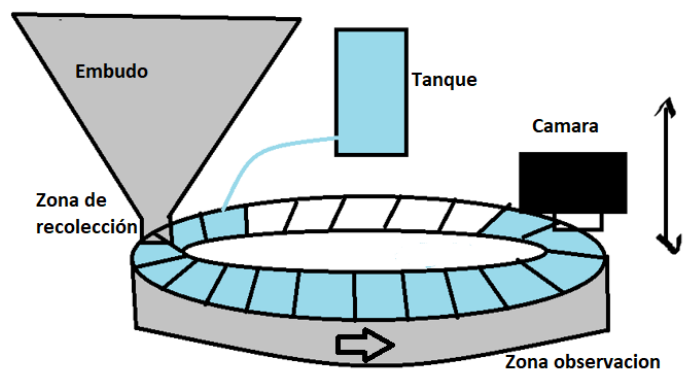


Ilustración 12. Boceto de diseño conceptual 5. (Elaboración propia)



- Bajo nivel de solución (alcohol y agua)

Diseño Conceptual 6: Banda transportadora

Ventajas

- Segmentos pequeños de aproximadamente 1.5cm*1.5cm
- 1 grado de libertad (z)
- Monitorización continua.
- No utiliza empaques.

Desventajas

- Se necesitan comprobación de insectos muertos.
- Rotación continua (gasto energético y de componentes)
- Bajo nivel de solución.
- Probable deterioro de la banda a corto plazo.

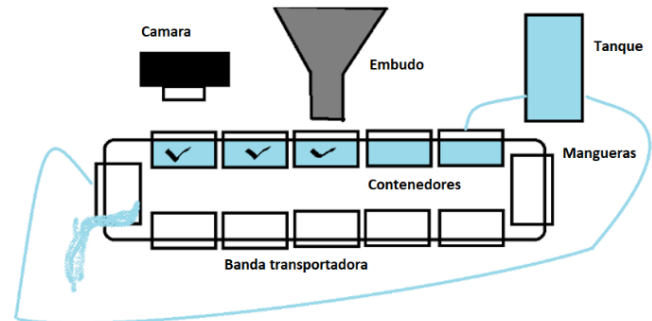


Ilustración 13 Boceto de diseño conceptual 6.
(Elaboración propia)

Se generaron estas propuestas de diseño tras un detallado análisis de los requisitos del proyecto. Estas propuestas surgieron con el objetivo de realizar una comparación exhaustiva y determinar cuál de ellas sería la opción más adecuada para avanzar en el proceso de diseño. Cada propuesta se desarrolló considerando las diferentes necesidades y especificaciones del sistema.



Resultados de encuesta

Mediante una videoconferencia, presentamos los diversos bocetos de diseño, con el objetivo de discutir y analizar las ventajas y desventajas de cada uno de los sistemas propuestos. Esta interacción nos permitió llegar a un consenso sobre las características clave que conformarían nuestro primer prototipo. Los resultados fueron los siguientes.

1) En la conferencia se presentaron varias propuestas de solución ¿Cuál fue la que consideras la mejor opción?

7 respuestas

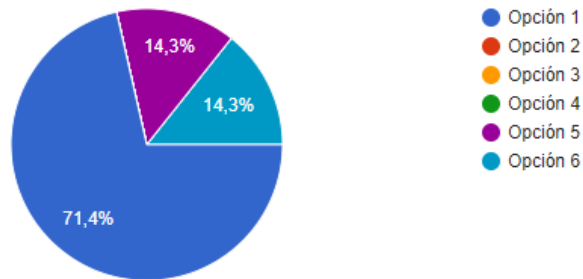


Ilustración 14 Diagrama que presenta respuestas de equipo. (Elaboración propia)

Al obtener el resultado anterior se preguntó el motivo por el cual se habían inclinado por la propuesta de su elección y de sus respuestas podemos destacar varios aspectos clave:

1. La importancia de una solución ordenada y cumplir con las necesidades propuestas
2. Una buena hermeticidad y adaptabilidad del diseño.
3. La preferencia por un diseño sencillo y robusto
4. Evitar pérdidas de organismos y en la facilidad de almacenamiento.
5. Un sistema que permita la sustitución de componentes de forma sencilla y requiere un mantenimiento accesible
6. Un sistema que permita recuperación de los ejemplares de insectos y terminen bien preservados.
7. La versatilidad y la cobertura del sistema.

Para facilitar la toma de decisiones entre los diversos bocetos disponibles, se implementó una matriz de ponderación. Esta herramienta permitió a los investigadores evaluar y comparar los diferentes diseños según criterios específicos, asignando pesos relativos a cada característica importante. La matriz de ponderación proporcionó un enfoque estructurado y cuantitativo para determinar el boceto más adecuado, considerando aspectos clave como la simplicidad del diseño,



DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN CLASIFICADOR DE INSECTOS AUTÓNOMO PARA EL MONITOREO DE PLAGAS EN LA CITRICULTURA.



la estabilidad del sistema, la eficiencia en la toma de fotos y otros factores críticos. Este enfoque sistemático facilitó la identificación del diseño más equilibrado y alineado con las necesidades y expectativas del proyecto.

MATRIZ DE PONDERACION						
Referencia	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4	Opción 5	Opción 6
Automático	+	=	=	=	+	+
Transportable	+	+	=	=	=	-
Clasificador	=	=	=	=	=	+
Economico	+	-	+	=	+	+
Independiente	+	=	=	=	=	=
Sencillez	+	-	+	-	+	-
Ahorrador	+	=	=	-	-	=
Visualizacion	-	+	+	+	+	+
Ecologico	+	=	=	=	+	+
Suma de +	7	2	3	1	5	5
Suma de -	1	2	0	2	1	2
Suma de igual	1	5	5	6	3	2
Triunfador	Opción 1	Empate 1/2->2	Opción 3	Opción 3	Opción 5	Opción 6
Posiciones	6To Lugar	5to Lugar	3er Lugar	4to Lugar	2do Lugar	1er lugar

Ilustración 15. Matriz de ponderación. (Elaboración propia)

Tras llegar de manera conjunta a la propuesta final, se llevó a cabo una encuesta para evaluar el nivel de satisfacción de los encuestados con dicha propuesta.

¿Del 1 al 10 que tan de acuerdo estas con el boceto propuesto en la conferencia?

6 respuestas

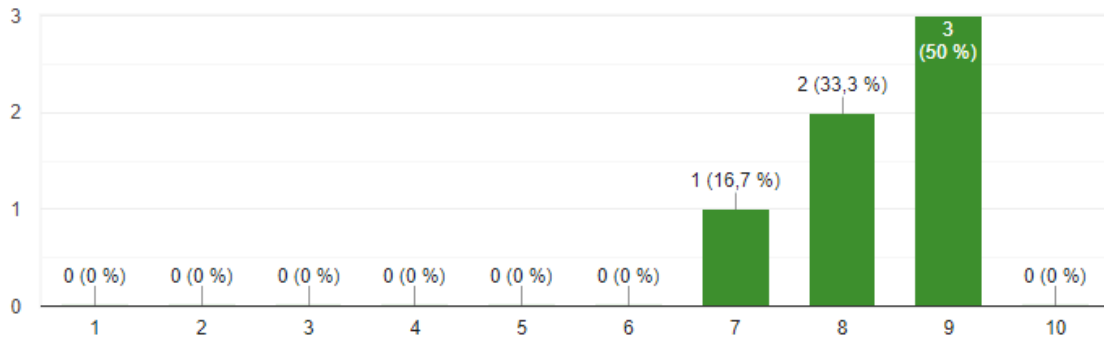


Ilustración 16. Nivel de conformidad. (Elaboración propia)



Los encuestados identificaron varias ventajas clave de la propuesta final:

- Ordenado: Se destacó la organización y estructura del sistema.
- Sencillez: La simplicidad del diseño fue resaltada, destacando que tiene pocas partes en comparación con otras opciones.
- Estabilidad: Evitaba la dependencia de diversos motores para el manejo de la muestra.
- Captura de Fotos: Se consideró que la toma de fotos era superior en comparación con otras opciones.
- Menos Partes Móviles: La propuesta fue elogiada por tener menos partes móviles, incorporando recirculación de líquidos y probable hermeticidad.
- Sencillez de Diseño: Se reconoció la simplicidad del diseño, destacándolo como una buena propuesta para el monitoreo automático.

Estos aspectos resaltan las fortalezas más importantes de la propuesta final según la percepción de los encuestados. De igual manera se preguntó por las desventajas que podría implicar este diseño a lo que los encuestados señalaron las siguientes desventajas importantes de la propuesta final:

1. Diseño de la Banda Transportadora: Se mencionó que el diseño de la banda transportadora puede presentar desafíos o inconvenientes.
2. Tamaño Físico: La dimensión física del sistema fue identificada como una desventaja.
3. Doble conteo en la Toma de Fotos: Se señaló que la toma de fotos para la identificación y conteo podría resultar en un doble conteo de un organismo debido al tamaño del recipiente y al movimiento horizontal del sensor.
4. Consideraciones para Días con Lluvia: Se destacó la necesidad de considerar días con lluvia, asegurando que el recipiente no se desborde y que los organismos se descompongan más lentamente debido a la dilución del porcentaje de alcohol.
5. Limpieza entre Muestras: Se mencionó la importancia de mantener la limpieza entre muestras, ya que elementos como polvo o cenizas podrían introducir ruido en la toma de imágenes.
6. Entrada de Muestras: Se cuestionó si la entrada de muestras era la más adecuada.
7. Acumulación de Sedimentos: La posición de la cámara planteó preocupaciones sobre cómo se resolvería la acumulación de sedimentos.
8. Profundidades de los recipientes: Se sugirió contemplar las profundidades de los recipientes para los insectos que flotan.

Estos aspectos resaltan los posibles desafíos y consideraciones que deben abordarse para mejorar la propuesta final.



Sistema de muestreo de insectos

Dentro de esta sección acerca del sistema de muestreo de insectos, exploraremos diversas configuraciones de diseño con sus respectivas ventajas y desventajas, retos específicos y la compatibilidad con el diseño general previamente seleccionado. Este componente es esencial para garantizar la clasificación de insectos, la eficiencia en la recolección de muestras, considerando aspectos como la facilidad de operación, la precisión en la identificación y clasificación de insectos, así como la integración sin conflictos con el sistema de transporte y recolección existente. Analizaremos detalladamente cada opción de diseño, evaluando cómo se alinean con los objetivos del proyecto y cómo pueden optimizarse para proporcionar un sistema integral y eficaz en la monitorización de plagas en la citricultura.

El sistema de muestreo adquiere una importancia crucial, pues no solo aborda la recopilación de datos sobre la presencia de plagas, sino que también impacta directamente en la eficiencia integral del dispositivo de muestreo. Su papel es fundamental para garantizar la precisión y representatividad de las muestras, permitiendo una identificación y clasificación adecuada de los insectos. Además, este componente guarda una estrecha relación con el diseño general del proyecto, ya que su compatibilidad y sinergia con los sistemas de transporte y recolección son imperativas para el éxito global del dispositivo. Es imperativo considerar la interacción de este sistema con la cámara que realizara un escaneo de muestras para su posterior reconocimiento de imágenes con la ayuda de un postproceso con IA, pues esto constituye un aspecto fundamental en la consecución de los objetivos del proyecto. A continuación, se presentan diferentes configuraciones de diseño.

Diseño Conceptual 1: Sistema Cartesiano

Características:

- 3GDL
- Fácil manufactura
- Sistemas confiables y robustos

Realiza un movimiento tridimensional cartesiano, para realizar un escaneo visual de las muestras.



Ilustración 17. Sistema cartesiano.
Obtenido de: [28]



Diseño Conceptual 2: Configuración Scara

Características:

- Robot de tipo industrial
- Trabaja de manera angular (polar)
- 3 GDL (plano y altura)

La cámara se coloca en un sistema de configuración Scara para realizar un escaneo visual y generar la clasificación.



Ilustración 18. Configuración Scara 4GDL. Obtenido de: [28]

Diseño Conceptual 3: Mecanismo cinemático

Características:

- Trayectoria definida
- 2 GDL (plano y altura)
- Sencillo, pero requiere planeación

Diseñar un mecanismo que abarque la zona de visión de la cámara para el escaneo de las muestras

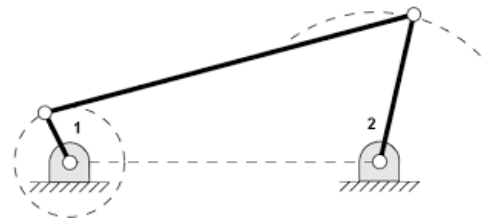


Ilustración 19. Mecanismo de 4 barras. Obtenido de: [29]

Diseño Conceptual 4: Solo Eje Z

Características:

- Limita la zona de visibilidad a solo lo más centrado
- 1 GDL (altura)
- Sencillez y robustez
- Alta durabilidad

La cámara se coloca con un solo grado de libertad en el eje z, para realizar el escaneo visual, se requiere una cámara muy específica para la aplicación.



Ilustración 20. Movimiento lineal en eje z. Obtenido de: [28]



Diseño Conceptual 5: Fijo

Características:

- Limita la zona de visibilidad a solo lo más centrado
- 0 GDL (altura)
- Sencillez y robustez
- Alta durabilidad
- Requiere que las muestras pasen por abajo del lente

La cámara se encuentra en una sola posición, pero requiere una muy alta definición para observar las especies más pequeñas.

Para la selección de este sistema es esencial la discusión y coordinación con el personal responsable del tema del reconocimiento de insectos mediante inteligencia artificial, asegurando así que la decisión sea la más idónea y acertada para la funcionalidad global del proyecto.

Sistema de recolección de insectos

El sistema de recolección de insectos busca conservar las muestras que pasen a través de nuestro sistema de clasificación de insectos. Con la preservación de las muestras podremos validar el funcionamiento de nuestro sistema al realizar comparaciones entre el sistema desarrollado y la clasificación manual, este sistema ayudará a la transición de la implementación de este sistema en campo.

Esta sección aborda la evolución del sistema de recolección de insectos, partiendo de un prototipo anterior que empleaba un tambor giratorio y clasificación manual con ocho frascos la cual se muestra en la Ilustración 21. A pesar de los intentos iniciales, la complejidad de dicho sistema, impulsado por motores a pasos y sensores, resultó en desafíos operativos que llevaron a la revisión del enfoque. En este contexto, exploraremos la transición hacia un diseño más mecánico para el nuevo prototipo, destacando la importancia de simplificar el sistema y mejorar su eficiencia sin comprometer la calidad de las muestras recolectadas.



Ilustración 21. Prototipo anterior de recolección de insectos TRSFI-F8 (Elaboración propia)

Cada uno de los siguientes diseños conceptuales tiene considerado el mismo principio que el prototipo TRSFI-F8, en donde un grupo de frascos girará para poder posicionarse debajo de una entrada donde caerán muestras, los frascos que no se encuentran en la entrada deberán estar cerrados.

Diseño Conceptual 1: Cruz de Malta

Ventajas

- Versatilidad en la transmisión de movimiento: La cruz de malta es un mecanismo que permite una rotación en un movimiento circular intermitente. Esto brinda versatilidad en la aplicación del movimiento y facilita el diseño de sistemas complejos.
- Sencillez de diseño: En comparación con algunos mecanismos más complejos, la cruz de malta puede tener un diseño relativamente simple, lo que facilita su comprensión, fabricación y mantenimiento.
- Reducción de componentes: Puede ayudar a reducir la cantidad de componentes necesarios para transmitir movimientos en direcciones diferentes, lo que simplifica el sistema mecánico.

Desventajas

- Limitaciones en la sincronización: Para un funcionamiento eficiente, la sincronización precisa de los movimientos en las direcciones perpendiculares es crucial. Desviaciones o desajustes pueden afectar negativamente el rendimiento.



- Potencial aumento de fricción: Dependiendo del diseño y la implementación, la cruz de malta puede experimentar fricción adicional en comparación con otros mecanismos, lo que podría afectar la eficiencia y la durabilidad.
- Requiere mantenimiento: Como cualquier mecanismo, la cruz de malta puede requerir mantenimiento periódico para garantizar un rendimiento óptimo a lo largo del tiempo.

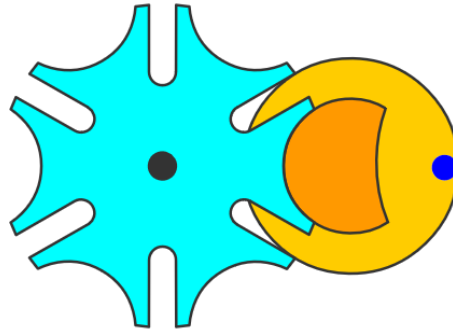


Ilustración 22. Mecanismo Cruz de malta. Obtenido de: [13]

Diseño Conceptual 2: Mecanismo de levas

Ventajas

- Precisión y repetibilidad: Las levas pueden proporcionar movimientos precisos y repetitivos, lo que las hace adecuadas para aplicaciones donde se requiere consistencia.
- Simplicidad de diseño: En comparación con algunos otros mecanismos, las levas pueden tener un diseño relativamente simple, lo que facilita la fabricación y el mantenimiento.
- Control de movimiento: Permiten un control preciso sobre el tipo y la magnitud del movimiento lineal generado.

Desventajas

- Limitación en el tipo de movimiento: Las levas son específicas para ciertos tipos de movimientos y pueden no ser ideales para aplicaciones que requieren flexibilidad en el tipo de movimiento.
- Desgaste y fricción: Con el tiempo, las levas pueden experimentar desgaste y fricción, lo que podría afectar su precisión y durabilidad.



- Requieren ajustes precisos: Para un rendimiento óptimo, las levas a menudo requieren ajustes precisos y tolerancias ajustadas, lo que puede aumentar la complejidad de diseño.

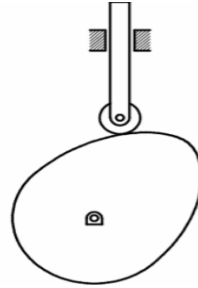


Ilustración 23 Mecanismo de levas. Obtenido de: [30]

En la Ilustración 23 podemos observar un diagrama del funcionamiento de una biela, su funcionamiento nos podría ayudar a generar el movimiento entrecortado que necesitamos para la colocación de frascos en una ubicación específica.

Diseño Conceptual 3: Tren de engranes

Ventajas

- Transmisión de potencia eficiente: Los trenes de engranes son eficientes para transmitir potencia mecánica de un componente a otro, con una pérdida mínima de energía.
- Variedad de velocidades: Al combinar engranes de diferentes tamaños, se pueden lograr varias velocidades de salida en comparación con la velocidad de entrada, lo que brinda versatilidad en la aplicación.
- Amplia gama de aplicaciones: Los trenes de engranes son utilizados en una variedad de máquinas y dispositivos, desde relojes hasta maquinaria industrial, debido a su capacidad para modificar la velocidad y la dirección del movimiento.
- Transmisión de par confiable: Los engranes son capaces de transmitir par de manera confiable, lo que los hace adecuados para aplicaciones que requieren una transmisión precisa de la fuerza.

Desventajas

- Espacio y peso: En algunas aplicaciones, especialmente en dispositivos pequeños, el espacio y el peso ocupado por los engranes pueden ser una limitación.



- Ruido y desgaste: Engranajes mal lubricados o desgastados pueden generar ruido y afectar la eficiencia. Además, el desgaste con el tiempo puede requerir mantenimiento y reemplazo.
- Costo de fabricación: La fabricación de engranes precisos puede ser costosa, especialmente cuando se requieren tolerancias ajustadas y materiales de alta calidad.
- Inversión de dirección complicada: Cambiar la dirección de rotación en un tren de engranes puede requerir engranes adicionales y ser más complicado que en algunos otros mecanismos.

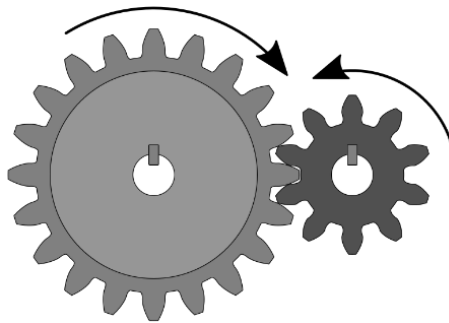


Ilustración 24. Par de engranes. Obtenido de: [14]

A través de este sistema de engranes se puede realizar de igual manera una rotación entrecortada y muy precisa para ubicar los frascos en las posiciones necesarias para recibir las muestras y salvaguardarlas.

Capítulo 2. Diseño Mecánico.

En el segundo capítulo de nuestro trabajo, titulado "Diseño Mecánico", nos sumergiremos en una fase crucial del proyecto, abordando aspectos esenciales que garantizan la efectividad y eficiencia de nuestro dispositivo en donde la elección de materiales se convierte en un componente clave para la durabilidad y funcionamiento óptimo de cada sistema. Además, exploraremos las herramientas avanzadas de diseño asistido por computadora (CAD), fabricación asistida por computadora (CAM) y análisis de elementos finitos (CAE), que desempeñarán un papel fundamental en la materialización y evaluación virtual de nuestras ideas.

A lo largo de este capítulo, detallaremos los prototipos realizados para cada uno de los sistemas, brindando una visión práctica de la evolución y validación de nuestras soluciones. Asimismo, nos sumergiremos en los cálculos específicos realizados, proporcionando un fundamento técnico para respaldar nuestras decisiones de diseño. Estos elementos, combinados, nos permitirán avanzar con confianza hacia la fase de implementación, asegurando un dispositivo robusto y eficaz en la captura y monitoreo de insectos.



Fabricación de prototipos

En este capítulo, nos adentraremos en la sección de los prototipos que realizamos para este proyecto. Cada uno de los tres sistemas clave de nuestro proyecto ha sido materializado y sometido a distintas pruebas ya sea de funcionamiento, conceptual, de materiales, entre otros. Estos prototipos no solo nos han proporcionado una visión tangible del funcionamiento potencial de nuestro sistema, sino que también han revelado valiosas lecciones sobre las ventajas y desventajas inherentes a cada diseño.

La observación detallada de estos prototipos nos ha permitido identificar áreas de mejora y perfeccionamiento. Este análisis crítico de los prototipos nos servirá como base sólida para la creación de una versión final, donde buscamos no solo abordar las fallas detectadas, sino también optimizar cada componente para garantizar un rendimiento excepcional y confiable de nuestro dispositivo.

Sistema de transporte de insectos

En el proceso de diseño y prototipado del sistema de transporte de insectos, nuestro primer prototipo fue concebido con el claro propósito de cumplir con las necesidades predefinidas. Se priorizó salvaguardar la integridad de los insectos, garantizando la retención de las muestras para evitar pérdidas. Asimismo, se buscó un diseño que fuera sencillo y refaccionable, asegurando que posibles fallas no comprometieran la integridad global del dispositivo.

Aunque fueron exhaustivas las propuestas de diseño y existía una aceptación del 100% de la última propuesta de diseño conceptual, las observaciones realizadas por los investigadores del área hicieron que nos inclináramos por una última configuración más que incluía la mayoría de las observaciones realizadas por los expertos y para demostrar una superioridad con respecto a la propuesta anterior se utilizó una herramienta de comparación de diseños llamada rueda estratégica del ecodiseño.

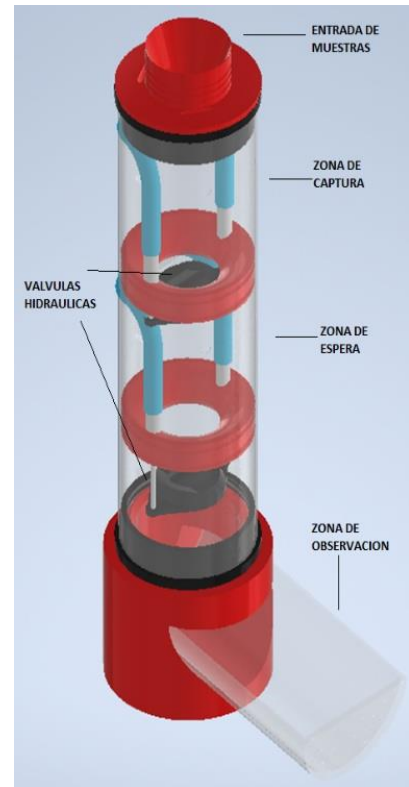


Ilustración 25. CAD de prototipo 1.
(Elaboración propia)



DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN CLASIFICADOR DE INSECTOS AUTÓNOMO PARA EL MONITOREO DE PLAGAS EN LA CITRICULTURA.

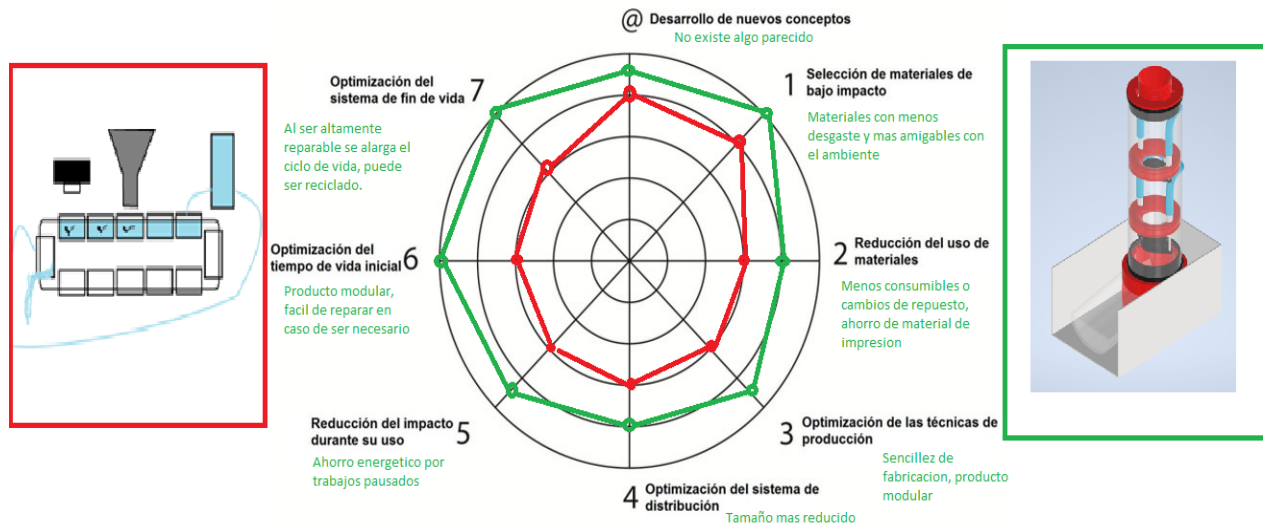


Ilustración 26 Rueda estratégica de ecodiseño. (Elaboración propia).

El sistema de transporte de insectos se diseñó con diferentes etapas para garantizar la eficacia y funcionalidad del proceso, en la Ilustración 25 se muestra un diagrama que muestra las partes que conforman esta nueva visión del prototipo. En donde la entrada de muestras se logra mediante una espiga conectada a la trampa para insectos a través de una manguera. Posteriormente, las muestras ingresan a la zona de captura, una pequeña cámara con una solución específicamente diseñada para preservar los insectos, compuesta por agua, alcohol y otros elementos.

En la siguiente fase, la solución con las muestras es liberadas hacia un compartimiento subsiguiente cuando se abre la válvula superior. Este segundo compartimiento espera a que los insectos dejen de moverse, mientras el primer compartimiento se vuelve a llenar, capturando más muestras. Después de un tiempo preestablecido, la válvula inferior se activa, permitiendo que la solución fluya hacia la zona de observación. En esta etapa, un sistema de clasificación de insectos con inteligencia artificial analiza las muestras capturadas, identificando el número y tipo de insectos presentes. Los datos resultantes se envían de forma remota a los investigadores para un análisis más detallado.

Este ciclo se repite indefinidamente, y para asegurar que los insectos no se adhieran a las orillas del recipiente, se implementó un sistema de aspersores que, al abrirse las válvulas, se encargan de llevar todas las muestras del frasco y de igual manera rellenan el recipiente para los siguientes ciclos. En la Ilustración 27 se puede observar el prototipo fabricado para validación de funcionalidad.



Ventajas

- El sistema cumplía eficientemente con los requerimientos de preservación y observación de insectos.
- Compacto y ocupaba un espacio reducido.
- Fácil de mantener, facilitando reparaciones o ajustes.
- Transparente, permitiendo la visibilidad para observar obstrucciones o problemas internos.
- Práctico y versátil, adaptándose a diferentes condiciones y entornos.

Desventajas

- Las válvulas resultaban un poco voluminosas, afectando la estética y, posiblemente, la eficiencia del sistema.
- El material acrílico no era maquinable, limitando su uso a pedazos de tubo que no se podían alterar y reduciendo las opciones de diseño y manufactura.
- El sistema hidráulico implementado presentaba fugas de aire debido a fisuras microscópicas, lo que comprometía la eficiencia del trabajo y su correcto funcionamiento.
- La zona de observación era considerablemente grande, afectando la visualización de la cámara.
- La zona de observación, al estar parcialmente descubierta, estaba expuesta a la posibilidad de contaminación por agentes externos no deseados en la muestra.



Ilustración 27. Prototipo 1 fabricado. (Elaboración propia)

Es importante destacar que, durante este proceso, se exploró la posibilidad de implementar una combinación híbrida de actuadores hidráulicos y eléctricos. Esta elección se fundamentó en aprovechar las ventajas de un sistema hidráulico, especialmente en situaciones donde el uso de líquidos podría afectar el rendimiento de un sistema eléctrico. No obstante, surgieron problemas técnicos que impidieron la implementación exitosa de esta combinación.

Sistema de muestreo de insectos.

Para realizar las primeras pruebas era necesario obtener algún tipo de pruebas frescas similares a las que podríamos obtener en Yucatán y es por lo cual fue necesario realizar una trampa



de tipo Muericke que consiste en un dispositivo sencillo utilizado para la captura de insectos voladores.

La trampa "Muericke" es un dispositivo casero para la captura de insectos voladores, proporcionando una solución eficaz a nuestra problemática, este dispositivo consta de un recipiente plástico de gran tamaño, dispuesto al aire libre y abierto para permitir el acceso de insectos. En el interior de este recipiente, se introduce una solución líquida, comúnmente compuesta de agua con detergente u otra mezcla que induce la inmersión y ahogamiento de los insectos al entrar.

Para llevar a cabo pruebas que replicaran las condiciones de Yucatán, se ubicaron estratégicamente estas trampas "Muericke", principalmente en áreas rurales o alejadas de la ciudad. Esto debido a que se tenía el propósito de minimizar la captura de plagas urbanas, asegurando que las muestras fueran más representativas de las condiciones específicas de nuestro interés. La elección de Hueyboxtla, Estado de México, como ubicación para instalar las trampas se fundamentó en su parecido para simular las condiciones de la trampa en Mocochoá, Yucatán. En la Ilustración 28 se puede observar la trampa casera utilizada para la obtención de muestras.



Ilustración 28. Trampa para insectos "Muericke". (Elaboración propia)

El funcionamiento de la trampa es sencillo pero efectivo: los insectos, atraídos por el recipiente y la solución líquida, entran en él y quedan atrapados. Esta metodología nos resulta especialmente útil para obtener una diversidad de insectos, ya que no se centra en una especie específica, sino que captura una muestra variada. Los resultados obtenidos fueron perfectos para la continuación de nuestra investigación.



DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN CLASIFICADOR DE INSECTOS AUTÓNOMO PARA EL MONITOREO DE PLAGAS EN LA CITRICULTURA.



Ilustración 29. Insectos obtenidos observados desde cámara microscopio. (Elaboración propia)

Después de la obtención de las muestras (Ilustración 29) se pudieron llevar a cabo dos prototipos para evaluar los grados de libertad requeridos para la cámara. El primer prototipo, con un grado de libertad en el eje Z, implicó la utilización de una base fija y un poste permitiendo que la cámara se deslizara en el eje Z (Ilustración 30).

La primera prueba se llevó a cabo utilizando una cámara para Raspberry equipada con un lente macroscópico. Sin embargo, los resultados de la imagen no proporcionaron una claridad suficiente para apreciar con detalle los rasgos de cada insecto. Esta limitación en la resolución llevó a descartar el uso de esta configuración por el momento, ya que no cumplía con las características necesarias para obtener imágenes detalladas de muestras pequeñas. Además de que la altura en Z era demasiado grande diseñar un modelo factible.



Ilustración 30. Prueba con Cámara para raspberry. (Elaboración propia)

Realizando un cambio de cámara diseñada para tomas microscópicas pudimos observar que el área de visibilidad de la cámara es de alrededor de 1.5 cm x 1.5 cm a una altura de 10cm. Lo cual mejoro la resolución, pero el área de observación es muy pequeña (Ilustración 31).

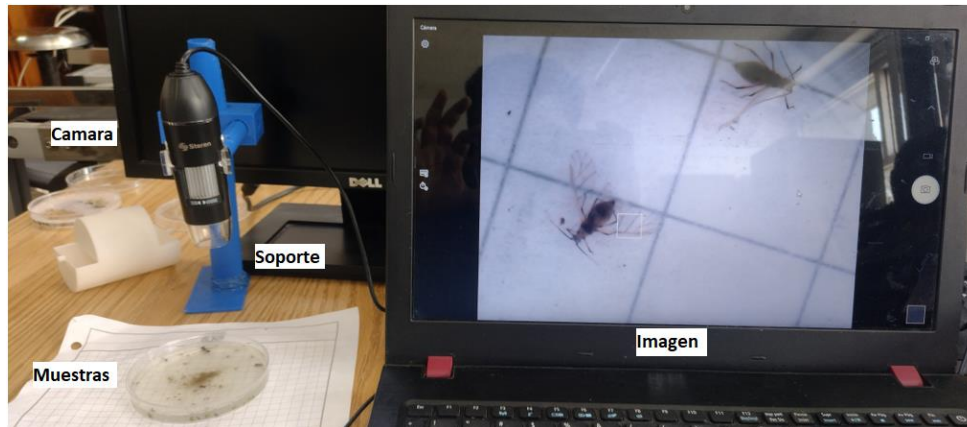


Ilustración 31. Fotografía insectos: 10 cm de altura, 1.5 cm x 1.5cm. (Elaboración propia)

En la segunda Ilustración 32 podemos observar cómo se debe hacer movimientos en el eje Z muy grandes para observar con claridad los insectos de talla pequeña con respecto a los de talla grande y después de ello al tener una pequeña área de observación se tiene que realizar un escaneo visual en el plano, por lo que se propone hacer un nuevo prototipo con 3 grados de libertad.

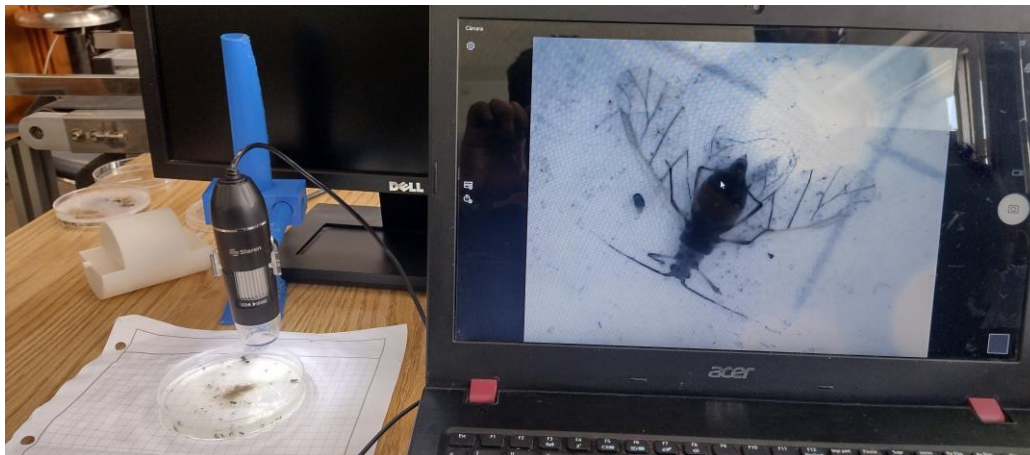


Ilustración 32 Fotografía insectos: 3 cm de altura, 0.7 cm x 0.7cm. (Elaboración propia)

En el segundo prototipo, se empleó una impresora 3D y se modificó el cabezal de extrusión para incorporar la cámara, lo que posibilitó analizar su funcionamiento con un sistema cartesiano de 3 grados de libertad.



Ilustración 33. Prototipado de cámara con 3 ejes de libertad. (Elaboración propia)

Durante las pruebas, se identificaron varios desafíos. Se observó que el campo de visión de las cámaras microscópicas era reducido, lo que llevó a la necesidad de disminuir la zona de observación. Además, al tratarse de muestras en una solución en constante movimiento, seguir el rastro de los insectos a través de una amplia área resultaba inviable. La disparidad en los tamaños entre diferentes especies de insectos también generó la necesidad de ajustes en el eje Z, que debían ser bastante significativos entre distintas especies. La variabilidad en la profundidad del fluido también se convirtió en un factor crítico, ya que un exceso de profundidad provocaba que los insectos más cercanos al fondo se volvieran borrosos debido al campo de visión de la cámara. Estas consideraciones llevaron a la decisión de retomar y ajustar el diseño propuesto del sistema de muestreo.

Sistema de recolección de insectos

La versión anterior del proyecto, denominada TRFI-F8, se centró en un sistema de recolección de insectos implementado mediante un mecanismo de revolver. Este sistema recibía las muestras en frascos, los cuales se intercambiaban periódicamente para llevar a cabo el conteo y clasificación manual de los insectos. La experiencia y los aprendizajes extraídos de este dispositivo se convierten en un recurso valioso, ya que nos proporciona una base sólida que podemos potenciar, así como los defectos que necesitamos corregir. El TRFI-F8 se muestra como un punto de partida sobre el cual podemos construir y mejorar nuestro sistema actual.



Antecedente del Sistema de Recolección de Insectos: Ventajas y Desventajas

Ventajas

- Compacto: El sistema anterior era compacto y fácil de transportar.
- Sencillo: La simplicidad del diseño facilitó su operación.
- Ligero: Su peso reducido lo hizo manejable y práctico.
- Estético: Presentaba un diseño atractivo y visualmente agradable.
- Facilidad de Cambio de Frascos: Simplificó el proceso de sustitución de los frascos.

Desventajas

- Sellado Ineficiente: Los frascos carecían de un sellado hermético.
- Problemas con Motor a Pasos: Complicaciones, como calentamiento y rendimiento inadecuado, relacionadas con el motor a pasos.
- Calentamiento por Freno del Motor: El freno del motor generaba calor adicional.
- Fallas de Diseño en la Instalación: Problemas estructurales afectaron el rendimiento.
- Problemas de Alineación: Dificultades en la alineación precisa de los frascos en el agujero de entrada.
- Vibraciones: Presencia de vibraciones no deseadas.

En el nuevo diseño, abordaremos estos desafíos para mejorar la eficiencia, precisión y confiabilidad del sistema de recolección de insectos.



Ilustración 34. Versión anterior del prototipo TRSFI-F8. (Elaboración propia)



Análisis de materiales

La selección de materiales constituye un elemento crucial en la elaboración de nuestro proyecto, exigiendo un análisis meticuloso para alinearse con las metas establecidas para este dispositivo. Dichos materiales deben cumplir con criterios rigurosos que abarquen sus propiedades mecánicas, químicas, térmicas y de manufactura, garantizando así un desempeño satisfactorio en cada una de sus funciones. En este contexto, la consideración de factores ambientales se torna esencial, particularmente en la zona donde la trampa será desplegada, caracterizada por una temperatura promedio de 35°C y una elevada humedad. Variables como la exposición a la lluvia y otros elementos climáticos asumen roles críticos en el proceso de elección de materiales.

Adicionalmente, se debe tener en cuenta la disponibilidad de las máquinas de manufactura en el laboratorio, ya que ciertos materiales pueden ser utilizados con eficacia según las herramientas disponibles. En nuestro caso, contamos con 3 impresoras 3D, un torno y un taladro de banco. Sin embargo, la carencia de equipos como fresadoras, esmeriles y soldadoras limita la capacidad de trabajar exhaustivamente con metales. En respuesta a esta limitación, se tomó la decisión estratégica de centrarse en la manufactura aditiva, subrayando su importancia en la elección de materiales para el desarrollo del proyecto. A continuación, se presenta una tabla detallada que destaca las propiedades clave de los materiales más comunes en impresión 3D.

Material	Propiedades Mecánicas	Propiedades Térmicas	Características	Aplicaciones Comunes
PLA (Ácido Poliláctico)	Resistencia a la tracción: 60-80 MPa.	Temperatura de transición vítrea: 55-60°C.	Biodegradable y no tóxico.	Prototipado rápido, juguetes.
ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno)	Resistencia a la tracción: 35-45 MPa.	Temperatura de transición vítrea: 95-105°C.	Resistente y duradero.	Carcasas de electrónicos, juguetes.
PETG (Tereftalato de polietileno glicol)	Resistencia a la tracción: 50-70 MPa.	Temperatura de transición vítrea: 80-90°C.	Transparencia, resistente a productos químicos.	Piezas resistentes y transparentes.
TPU (Poliuretano Termoplástico)	Resistencia a la tracción: 25-60 MPa.	Temperatura de transición vítrea: -40°C.	Flexible y elástico.	Fundas para teléfonos, sellos.



DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN CLASIFICADOR DE INSECTOS AUTÓNOMO PARA EL MONITOREO DE PLAGAS EN LA CITRICULTURA.



Nylon	Resistencia a la tracción: 50-100 MPa.	Temperatura de transición vítrea: 60-70°C.	Ligero y duradero.	Engranajes, piezas mecánicas.
PLA reforzado con fibra de carbono	Resistencia a la tracción: 100-200 MPa.	Temperatura de transición vítrea: 60-80°C.	Ligero y rígido.	Prototipado de ingeniería, componentes aeroespaciales
ASA (Acrilonitrilo Estireno Acrilato)	Resistencia a la tracción: 40-50 MPa.	Temperatura de transición vítrea: 95-105°C.	Resistente a la intemperie y los rayos UV.	Componentes exteriores, señalización exterior.
PC (Policarbonato)	Resistencia a la tracción: 60-70 MPa.	Temperatura de transición vítrea: 140-150°C.	Resistente a impactos.	Lentes, carcasas resistentes.

Tabla 4. Propiedades de los materiales más comunes en la manufactura aditiva.

Para complementar la elección de los materiales, se optó por utilizar el software de CES EduPack. Para lo cual se establecieron propiedades específicas que necesitábamos en nuestro material como que el material nos dejara observar los insectos dentro del sistema para evitar algún tipo de atasco y que tuviera un buen rango de resistencia mecánica, por lo que el sistema debe ser mayormente transparente y a una resistencia razonable, la dureza de igual manera es importante pero evitando materiales frágiles que se pudieran romper en su uso y que el impacto ecológico del material elegido sea mínimo.

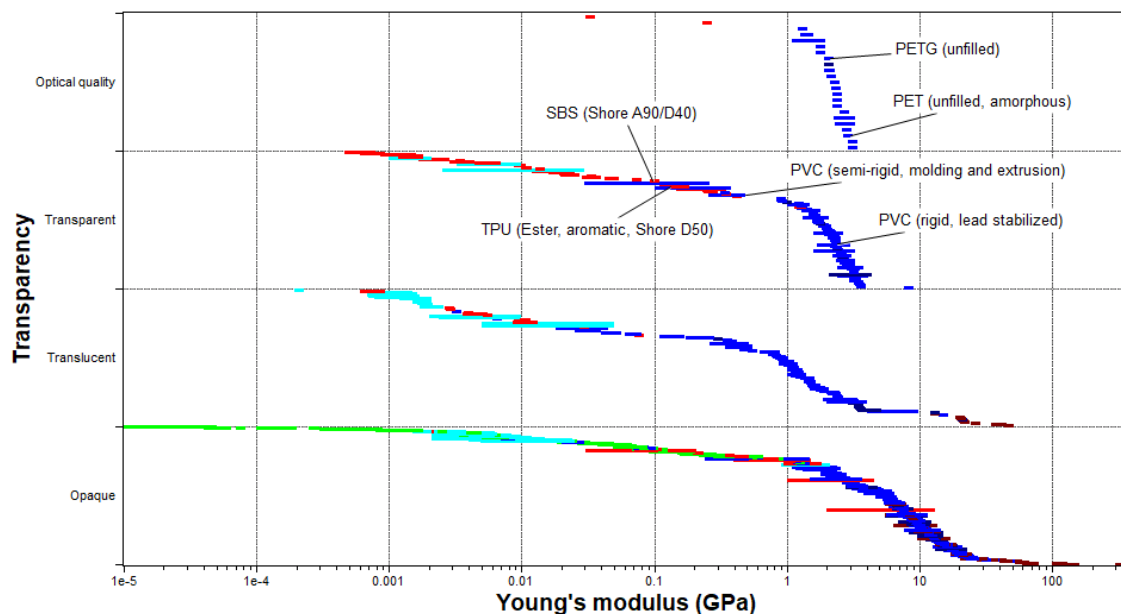


Ilustración 35. Grafica transparencia vs módulo de Young. Obtenido de: CES EDUPACK



Esta Ilustración 35. Grafica transparencia vs módulo de Young muestra cómo varía la transparencia de los materiales en función de su módulo de Young. La transparencia es importante ya que se necesita que ciertas partes de tu dispositivo sean visibles o permitan el paso de la luz, como en el caso de sensores ópticos o cámaras, que precisamente es nuestro caso de estudio, además de que la visibilidad era necesario para la fase de pruebas y asegurar que no hubiese atascos.

“El módulo de Young, también conocido como módulo de elasticidad, es una propiedad mecánica de los materiales que describe su capacidad para resistir deformaciones elásticas bajo la acción de fuerzas. Se define como la relación entre el esfuerzo (fuerza por unidad de área) y la deformación (cambio relativo de longitud) en la región elástica de la curva de tensión-deformación de un material.” [15]

Este valor es importante porque nos muestra cuan tan dúctil o duro es un material propenso a una carga, de esta manera podremos observar si los materiales cumplen con las especificaciones necesarias para su respectivo uso.

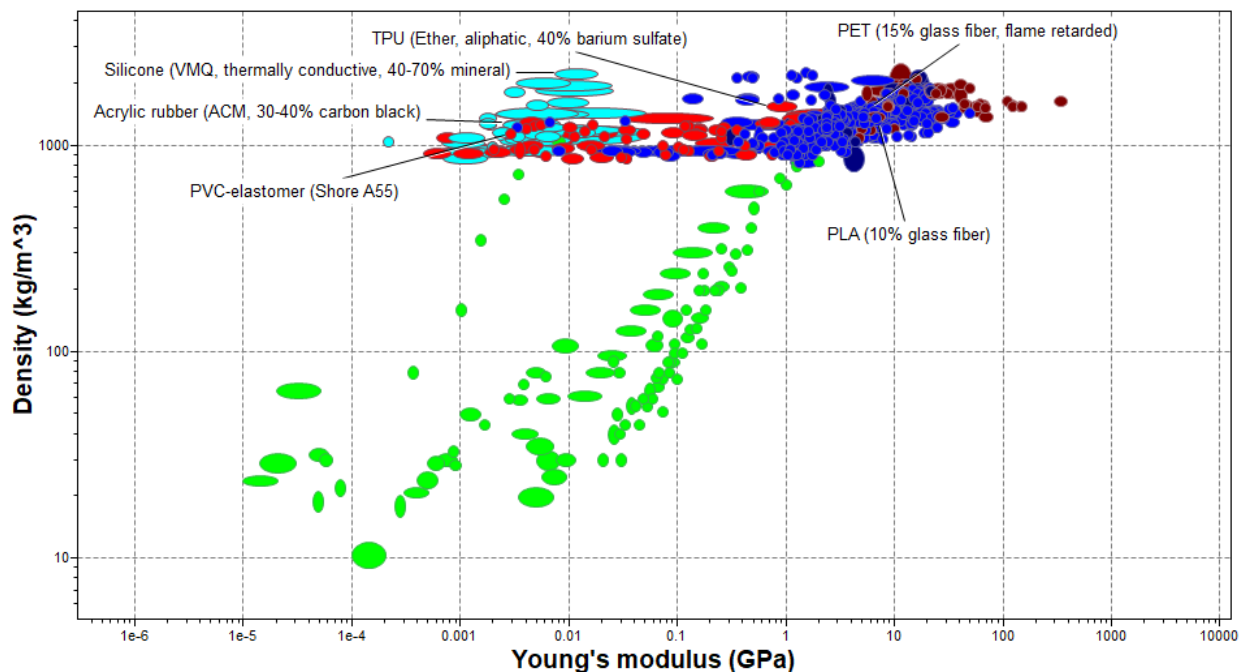


Ilustración 36 “Grafica densidad vs Modulo de Young”. Obtenido de: CES EDUPACK

En la Ilustración 36 “Grafica densidad vs Modulo de Young” ayuda a visualizar la relación entre la densidad de un material y su rigidez, representada por el módulo de Young. Permite identificar materiales que sean ligeros, pero a la vez rígidos, lo cual es crucial para aplicaciones donde se requiere resistencia estructural sin agregar demasiado peso, esto debido a que se tiene que transportar probablemente vía aérea además de que se requiere optimizar los recursos.

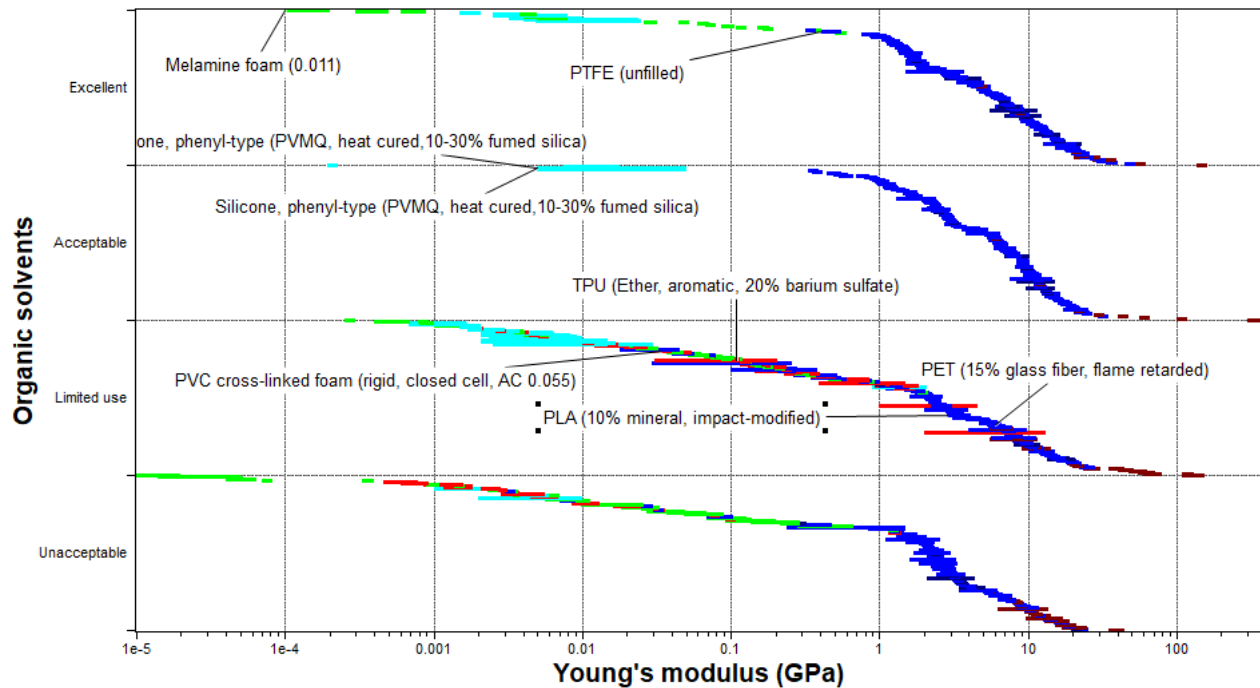


Ilustración 37. "Gráfica Densidad vs módulo de Young". Obtenido de: CES EDUPACK

En la Ilustración 37. "Gráfica Densidad vs módulo de Young" ayuda a evaluar la resistencia química de los materiales frente a solventes orgánicos, así como su rigidez. Es importante para aplicaciones donde los materiales estarán expuestos a entornos corrosivos o químicamente agresivos. En este caso necesitábamos tener en cuenta que uno de los materiales con los que íbamos a trabajar era una solución del alcohol donde caerían nuestras muestras y por lo cual esta sustancia estaría en contacto con algunas zonas del dispositivo.

Las gráficas proporcionan una guía valiosa para la selección de materiales en nuestro proyecto, permitiéndonos identificar qué opciones podrían ser más adecuadas para la fabricación del dispositivo. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que algunos de los materiales que se destacan en estas gráficas pueden no ser prácticos para nuestra aplicación. Algunos materiales pueden ser difíciles de obtener en las cantidades necesarias, podrían ser demasiado costosos para nuestro presupuesto o requerirían procesos de fabricación especializados, como la inyección de plástico. Estos factores adicionales deben considerarse al tomar decisiones finales sobre los materiales a utilizar en el diseño del dispositivo. Es importante buscar un equilibrio entre las propiedades deseables de los materiales y su viabilidad práctica en términos de disponibilidad, costo y procesabilidad.



Diseño Final

El diseño final de este desarrollo integra los diferentes sistemas previamente mencionados para abordar nuestra problemática principal: el análisis de insectos capturados en nuestra trampa. Este sistema consta de dos frascos interconectados por un tubo inclinado, como muestra la Ilustración 38; en el primero, los insectos caen en una solución de alcohol que se utiliza para preservar las muestras. Este frasco permanece cerrado hasta que transcurre un tiempo predefinido. Posteriormente, se abre la primera válvula en la parte inferior del primer frasco, y los insectos pasan a través de un conducto que los dirige hacia un tubo de acrílico translúcido. Colocando una cámara en este tubo, todo lo que pase a través de él será monitoreado por la cámara. Una vez monitoreados, los insectos pasan al segundo frasco, que se diseñó para abordar ciertas problemáticas identificadas. En el capítulo de este documento denominado CAD se pueden observar esquemáticos que ayudaran a entender la disposición de cada uno de los sistemas.

Entre las problemáticas solucionadas se encontraba la posible interferencia entre insectos cuando pasaban frente a la lente de la cámara debido a una alta densidad. Para mitigar este problema, se decidió que el primer frasco vaciara su contenido de manera más recurrente. En este punto, el segundo frasco desempeña un papel crucial al regular el nivel de la solución que deberán contener los frascos posteriormente. Además, este frasco tiene la función de almacenar la muestra durante el tiempo predeterminado por los científicos hasta que determinen que ha sido suficiente el período de muestreo y decidan reiniciar el ciclo de recolección. Al igual que el primer frasco, el segundo cuenta con una válvula que se abre para liberar su contenido en la sección del sistema de recolección de insectos, donde se encuentran frascos sellados.

Esto permite a los científicos recoger la muestra y comparar los resultados obtenidos por la cámara con los obtenidos de manera manual. Con el objetivo de ofrecer una comprensión más detallada de los aspectos considerados en nuestro diseño, se presentarán de forma individual algunas de las partes que constituyen nuestra propuesta.

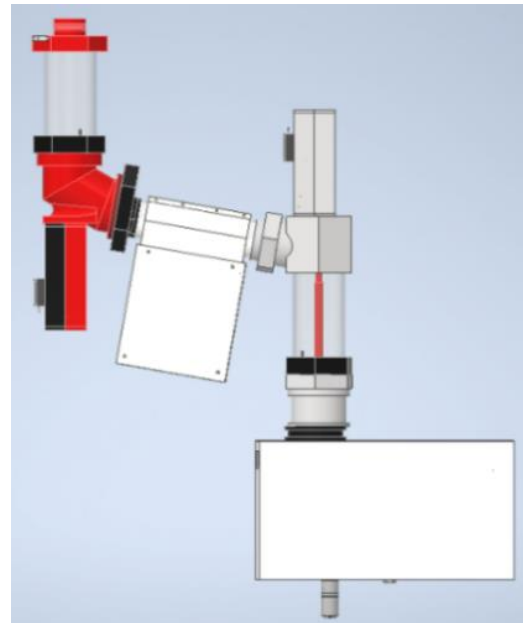


Ilustración 38 Clasificador de insectos autónomo.
(Elaboración propia)



Sistema de transporte de insectos.

El sistema de transporte de insectos (Ilustración 39) se compone de dos frascos interconectados mediante un tubo de acrílico transparente, cada uno con su propia servo válvula para controlar el flujo y el momento de apertura. El primer frasco presenta una tapa superior que facilita el mantenimiento y la limpieza, conectándose al embudo de la trampa a través de una manguera. Este frasco cuenta con un sistema de irrigación para evitar que los insectos se adhieran a las botellas y un sistema de drenaje para gestionar el exceso de agua durante lluvias, evitando daños al sistema. Su función principal es recibir los insectos, conservarlos en una sustancia y abrir su válvula para el monitoreo con la cámara cada 20 minutos, un intervalo que puede ajustarse según la temporada de plagas.

Las servo válvulas, esenciales para regular el flujo, están fabricadas con impresión 3D utilizando material PETG. Comprenden un sistema de biela-manivela entre un servomotor, convirtiendo el movimiento circular en lineal de un pequeño pistón con un empaque que actúa como válvula. Están diseñadas con un resorte para asegurar el cierre en caso de cortes de electricidad o fallos en los servos, optimizando la eficiencia energética.

El conducto que sigue al primer frasco consta de un tubo de acrílico de 2 pulgadas, por el cual pasa la muestra, siendo monitoreada y contabilizada por la cámara ubicada en la parte inferior. El flujo debe ser laminar y a una velocidad controlada. Para garantizar la visualización y evitar defectos en el tubo redondo, se aplican tratamientos específicos.

El segundo frasco sigue el mismo concepto modular del primero, permitiendo la refacción, reutilización y conexión sencilla. La principal diferencia radica en que su válvula se encuentra en la parte superior y regula el nivel de solución de las muestras, enviándolas a un nivel específico para su preservación en el sistema de recolección de insectos. Se utilizan cuerdas estándar, aunque ajustes en tolerancias debieron realizarse debido a defectos en la impresión 3D. Estos son los aspectos clave abordados en el sistema de transporte de insectos. En el capítulo “CAD” de este documento podemos observar diagramas que facilitarán la comprensión de este sistema.



Ilustración 39 Sistema de transporte de insectos. (Elaboración propia)



Sistema de muestreo de insectos.

La implementación del sistema de monitoreo de insectos se llevó a cabo en colaboración con un miembro del equipo estudiante de doctorado Valente Vázquez, quien se encargó de integrar la parte electrónica y el reconocimiento de insectos mediante inteligencia artificial. Este sistema, como se ha mencionado anteriormente, consta de un tubo de acrílico por el cual las muestras de insectos fluyen, mientras que la cámara está dispuesta de manera perpendicular al tubo, monitoreando cada insecto que atraviesa el conducto. La cámara se mantiene fija al tubo de acrílico.

Esta metodología de conteo de insectos resultó altamente efectiva, especialmente en comparación con soluciones más complejas que se habían propuesto anteriormente. Estas soluciones implicaban el uso de sistemas cartesianos o de muchos grados de libertad, donde la cámara debía moverse. En cambio, optamos por desplazar los insectos por debajo de la cámara mediante un flujo laminar, canalizándolos hacia los frascos mencionados anteriormente. Al reducir la complejidad de nuestro sistema, logramos minimizar el número de actuadores, el control, el peso y otras variables que podrían complicar el éxito del proyecto.

La cámara utilizada fue una cámara focal para Raspberry, modificada para detectar imágenes microscópicas y así lograr una resolución adecuada de los insectos. La carcasa de la cámara fue diseñada por mi compañero en forma de una caja dispuesta perpendicularmente a la dirección de la tubería, fabricada en impresión 3D con material PETG, con un sistema de ventiladores dispuestos estratégicamente para generar un vacío dentro de la caja y prevenir la humedad mediante el efecto Venturi. La iluminación desempeñó un papel crucial, ya que el reflejo de la luz en el tubo afectaba la calidad de la imagen. Sin embargo, al posicionar los haces de luz de manera específica, pudimos reducir este efecto. Además, se tuvo en cuenta la curvatura del tubo, que deformaba ligeramente la imagen captada por la cámara, aunque se consideró que este efecto no era significativamente perjudicial. En el capítulo “CAD” de este documento podemos observar diagramas que facilitarán la comprensión de este sistema.

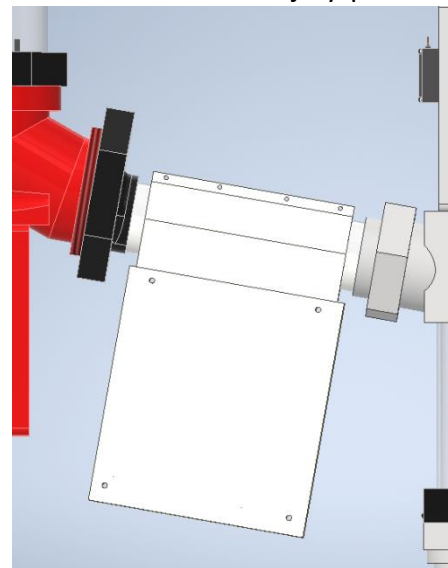


Ilustración 40. Sistema de monitoreo de insectos. (Elaboración propia)



Sistema de recolección de insectos.

El sistema de recolección de insectos se basa en el trabajo previamente mencionado, con mejoras respecto al prototipo anterior. Consiste en una caja de acero inoxidable que alberga ocho frascos dispuestos como un carrusel o revólver. Una vez que los frascos han sido llenados con muestras, el revólver gira y posiciona un frasco vacío para recibir la siguiente muestra. Estos frascos están herméticamente sellados.

El funcionamiento del sistema incorpora un mecanismo conocido como “Cruz de Malta”, el cual segmenta un movimiento rotacional para generar un movimiento rotatorio interrumpido, posicionando los frascos debajo del agujero de entrada de las muestras de insectos. El piñón de la cruz de Malta es accionado por un motor reductor de alto par, y con este sistema se logra el movimiento intermitente de los frascos. Para evitar esfuerzos innecesarios en el motor, los frascos descansan sobre un balero axial de carga, protegiendo otros componentes de posibles impactos negativos.

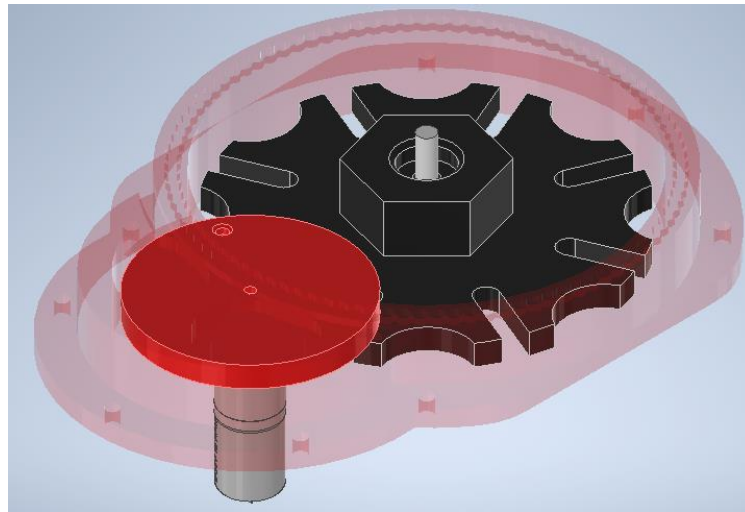


Ilustración 41. CAD Cruz de Malta. (Elaboración propia)

Los portavasos están diseñados para trabajar en la región plástica de los materiales, permitiendo cierta deformación para abrazar los frascos y mantenerlos en su lugar. Cada frasco se sella con una tapa de acrílico que presenta un único agujero por donde caen los insectos. Esta tapa, forzada con resortes, garantiza un sello hermético mediante un empaque diseñado específicamente para deformarse y sellar al entrar en contacto con la lámina de acrílico. Además, estos empaques de baja fricción facilitan un deslizamiento óptimo entre el empaque y la lámina de acrílico, evitando que el motor se vea sometido a esfuerzos excesivos. En resumen, esta es la



configuración principal de nuestro sistema de recolección de insectos. En el capítulo “CAD” de este documento podemos observar diagramas que facilitarán la comprensión de este sistema.

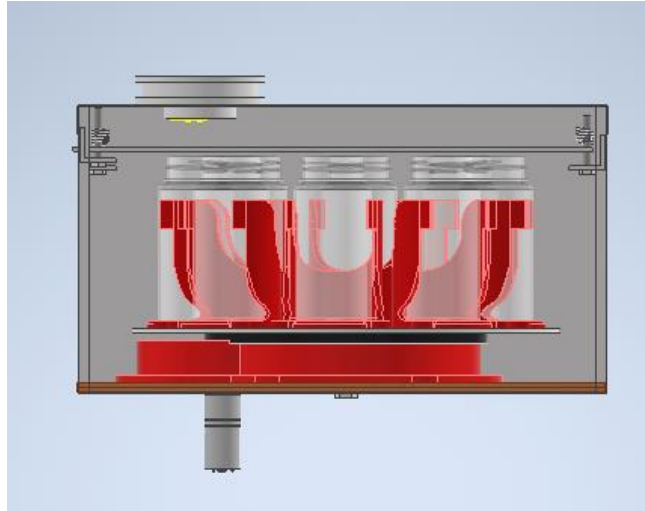


Ilustración 42. Sistema de recolección de insectos. (Elaboración propia)

Funcionamiento del sistema

El sistema de transporte de insectos, como ya se mencionó se compone de dos frascos, cada uno con su función específica. El primero actúa como receptáculo inicial para las muestras de insectos succionadas por la trampa, preservándolas en una solución de alcohol. Una vez en este primer frasco, las muestras pasan por la zona de monitorización de insectos, donde son sometidas a una clasificación mientras pasan por debajo de un lente. Posteriormente, las muestras avanzan hacia el segundo frasco.

Con el propósito de minimizar la superposición de insectos por un exceso de muestras que lleguen a cruzar por la cámara que pudiera afectar los resultados, el primer frasco puede abrirse múltiples veces antes de permitir el paso en el segundo frasco, consiguiendo así muestras donde haya menos superposiciones de insectos al cruzar por la cámara. Además, se diseñó este primer frasco para drenar el exceso de fluido en caso de lluvia, y si el sensor de humedad detecta esta condición, ninguna de las válvulas deberá activarse.

Por otro lado, el segundo frasco tiene la función de contener todas las muestras que caigan desde el primero, manteniendo constantemente un nivel adecuado de la solución de alcohol y devolviendo el excedente al tanque principal. La apertura del segundo frasco ocurre cuando se alcanza el número necesario de aperturas del primer frasco, permitiendo que las muestras caigan en el sistema de recolección de insectos. En el capítulo “CAD” de este documento podemos observar diagramas que facilitarán la comprensión de este sistema.



Diagramas de tiempos para el sistema de transporte de insectos:

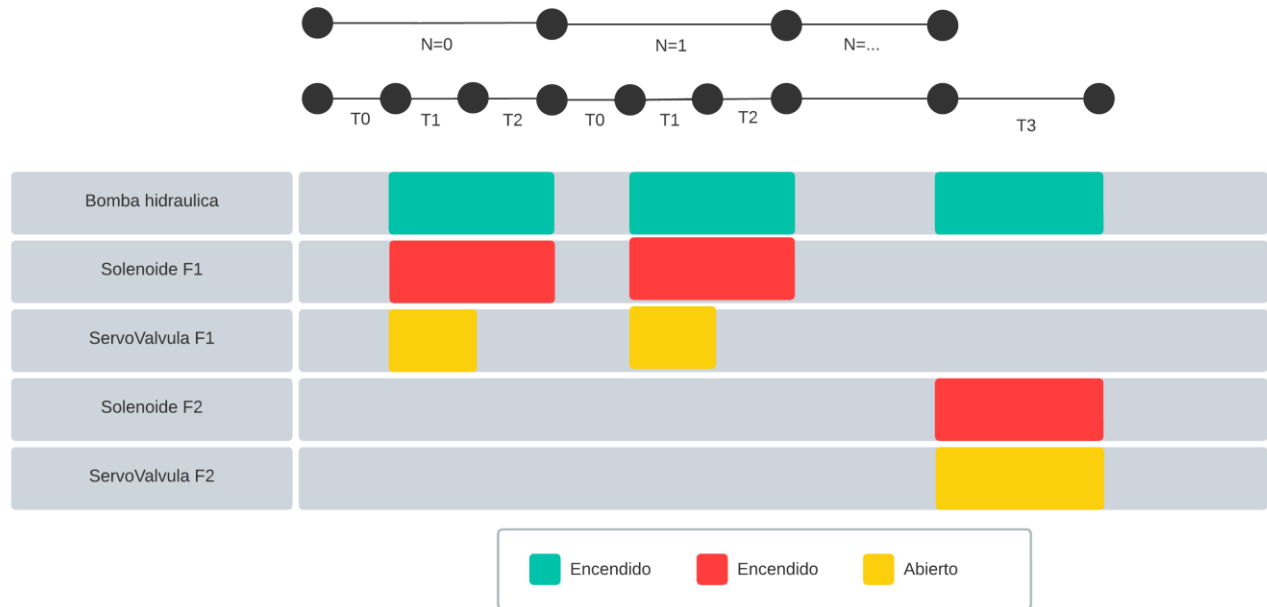


Ilustración 43. Diagrama de tiempos del sistema de transporte de insectos. (Elaboración propia)

Donde

- T0=Tiempo de espera para hacer descarga del primer frasco
- T1=Tiempo de compuerta abierta del primer frasco
- T2=Tiempo de llenado de frasco
- T3=Tiempo de apertura del segundo frasco con esparado
- N=Numero de veces que el primer frasco se puede abrir antes de abrir el segundo frasco

A continuación se muestra, la lógica con la que operará el dispositivo para su respectivo funcionamiento:

El sistema de recolección opera de la siguiente manera: al presionar un botón de “frasco inicial” o cuando se enciende si se encontraba apagado, el dispositivo girará hasta que se active el sensor del primer frasco, actuando como una función de referencia o posición de inicio. Además deberá contar con un archivo de registros para indicar si ya se han recolectado muestras en los frascos. Si este es el caso, avanzará hacia el siguiente frasco vacío, para no combinar muestras.



Además, el dispositivo girará una posición bajo dos condiciones específicas: cuando se presione el botón de cambio de frasco o cuando la válvula del segundo frasco se cierre. Estas condiciones marcan el principio de funcionamiento del sistema y garantizan un flujo adecuado de muestras a través de los diferentes compartimentos del dispositivo.

Diagrama de tiempo para el sistema de recolección de insectos

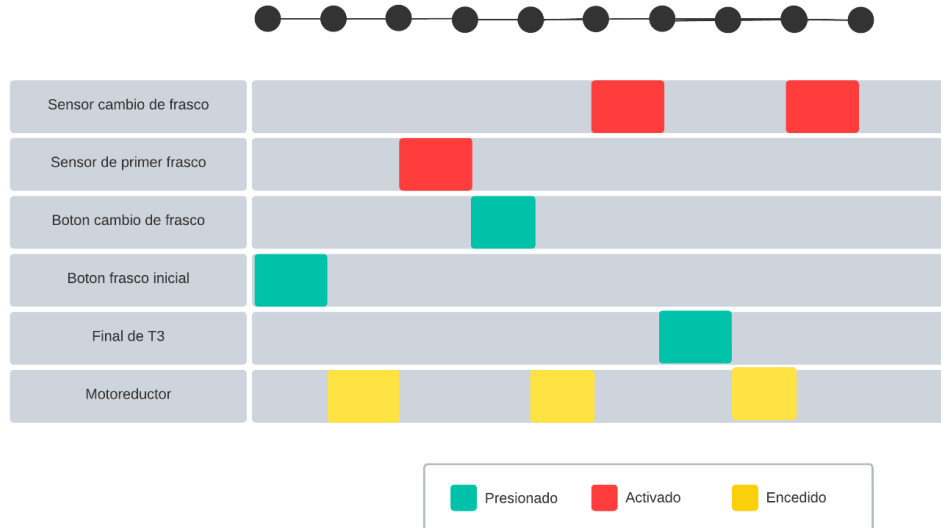


Ilustración 44. Diagrama de tiempo para el sistema de recolección de insectos. (Elaboración propia)

Donde:

- T3=Señal de válvula 2 cerrada.

Cálculos efectuados

Revolver

Para calcular el par del motor que utilizara el sistema de recolección de insectos se realizaron los siguientes cálculos. En la Ilustración 45 se observa un diagrama de torques del dispositivo.

$$\sum \tau = 0 \quad \dots (1)$$

Donde

- $\tau = \text{Torque}$



$$\tau_{motor} - \tau_{inerencia} - \tau_{friccion} = 0 \quad \dots(2)$$

$$\tau_{motor} = \tau_{inerencia} + \tau_{friccion} \quad \dots(3)$$

$$\tau_{motor} = (F_{inerencia} * l * Sen(90^\circ)) + (F_N * l * Sen(90^\circ)) \quad \dots(4)$$

$$\tau_{motor} = ((m_{frascos} * a_{frascos}) * l * sen(90^\circ)) + ((\mu_s * F_N) * l * sen(90^\circ)) \quad \dots(5)$$

Donde

- $m_{frascos}$: Masa de los frascos
- $a_{frascos}$: Aceleración de los frascos
- l : Longitud
- μ_s : Coeficiente de fricción estática
- F_N : Fuerza normal.

$$\tau_{motor} = \left((1 [Kg] * 1 \left[\frac{m}{s^2} \right]) * 0.1[m] * 1 \right) + ((0.6 * 10[N]) * .1 * 1) = 0.7 \left[\frac{N}{m} \right] = 7.138 \left[\frac{kg}{cm} \right] \quad \dots(6)$$

$$\tau_{seguro} = \tau_{motor} * F_{seguridad} = 7.138 \left[\frac{kg}{cm} \right] * 3 = 21.414 \left[\frac{kg}{cm} \right] \quad \dots(7)$$

Bajo estos resultados podemos observar que tipo de motor es adecuado para la carga que estará llevando nuestro dispositivo. El motorreductor de elección deberá tener un par mayor a 22[Kg/cm].

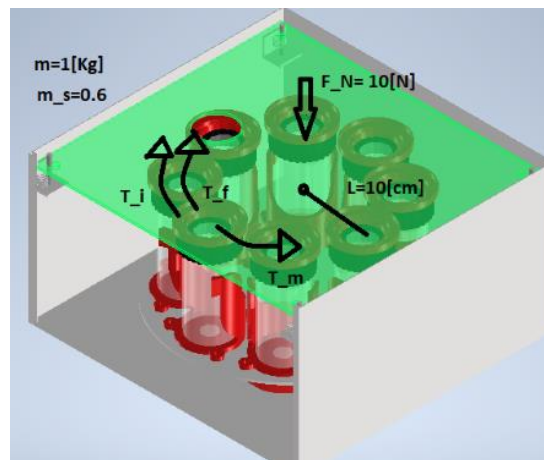


Ilustración 45. Diagrama de torques. (Elaboración propia).

Válvulas

Para el cálculo del resorte necesario para que las válvulas se quedaran cerradas en caso de desenergización de los servomotores se realizó el siguiente desglose.



Primero se convirtió el par del servomotor a la fuerza que transmite con el sistema de Biela manivela:

$$\tau = F * l * \text{sen}\theta \quad \dots(8)$$

Donde:

- τ : Torque Servo
- F : Fuerza lineal
- l : Longitud
- θ : Angulo

$$F_{\text{biela}} = \frac{\tau}{l * \text{sen}\theta} \quad \dots(9)$$

Las especificaciones del servomotor indica que su torque es de 15 N/cm.

$$F = \frac{\tau}{l * \text{sen}\theta} = \frac{0.15[Nm]}{.015[m]} = 10N \quad \dots(10)$$

Una vez obtenida la fuerza de la Biela debemos obtener una constante de resorte que sea manejable para nuestro actuador.

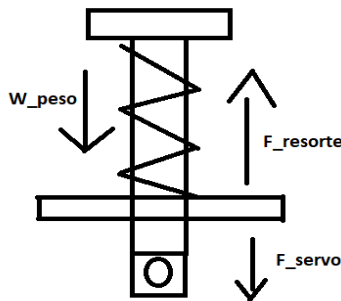


Ilustración 46. Diagrama de fuerzas.
(Elaboración propia)

$$\sum F = 0 \quad \dots(11)$$

$$F_{\text{resorte}} - W_{\text{peso}} - F_{\text{servo}} = 0 \quad \dots(12)$$

Donde:

- F_{resorte} : Fuerza del resorte
- W_{peso} : Peso del mecanismo
- F_{servo} : Fuerza del servo

$$F_{\text{resorte}} = W_{\text{peso}} - F_{\text{servo}} \quad \dots(13)$$

$$F_{\text{resorte}} = \left(0.01[Kg] * 9.81 \left[\frac{m}{s^2}\right]\right) - 10N = 9.90[N] \quad \dots(14)$$

Para el cálculo de la constante del resorte:

$$F_{\text{resorte}} = k * x \quad \dots(15)$$



DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN CLASIFICADOR DE INSECTOS AUTÓNOMO PARA EL MONITOREO DE PLAGAS EN LA CITRICULTURA.



Donde:

- k : Constante del resorte
- x : Elongación del resorte

$$k = \frac{F_{\text{resorte}}}{x} \quad \dots(16)$$

$$k = \frac{9.90[N]}{.02[m]} = 495 \left[\frac{N}{m} \right] = 0.495 \left[\frac{N}{mm} \right] \quad \dots(17)$$

Una vez obtenidos los parámetros del resorte se procede a ir a catálogos para encontrar el resorte que mejor se adecue a nuestro diseño. (Ilustración 47)

Lee Spring® Acerca de nosotros Resortes de catálogo ▼ Solicita una cofización Solicita un catálogo Centro de recursos Contáctanos

Sistema de medidas

Imperiales/Pulgadas Métricas

Dimensión Física
 mm cm

Carga
 N kg gm

Filtrar Reiniciar todo

Diámetro exterior ▼

Diámetro del orificio de trabajo ▼

Diámetro interior Reiniciar ▲

10 Min. Max. 15

Número de Parte	Diámetro exterior (mm)	Diámetro del orificio (mm)	Diámetro de poste (mm)	Longitud libre (mm)	Constante (N/mm)	Altura sólida (mm)	Diámetro del alambre (mm)	Material	Comparar
LP 026H 01 S316	11.56	11.91	9.53	19.05	0.33	4.52	0.66	SS316	<input type="checkbox"/>
LC 036G 08 S	12.19	12.7	9.96	44.45	0.578	8.66	0.91	SS	<input type="checkbox"/>
LC 036G 08 S316	12.19	12.7	9.96	44.45	0.578	8.66	0.91	SS316	<input type="checkbox"/>
LC 036G 09 S	12.19	12.7	9.96	50.8	0.508	9.65	0.91	SS	<input type="checkbox"/>
LC 036G 09 S316	12.19	12.7	9.96	50.8	0.508	9.65	0.91	SS316	<input type="checkbox"/>
LC 036G 10 M	12.19	12.7	9.96	57.15	0.543	10.67	0.91	MW	<input type="checkbox"/>
LC 036G 10 S	12.19	12.7	9.96	57.15	0.455	10.67	0.91	SS	<input type="checkbox"/>
LC 036G 10 S316	12.19	12.7	9.96	57.15	0.455	10.67	0.91	SS316	<input type="checkbox"/>
LC 036G 11 M	12.19	12.7	9.96	63.5	0.49	11.68	0.91	MW	<input type="checkbox"/>
LC 036G 11 S	12.19	12.7	9.96	63.5	0.403	11.68	0.91	SS	<input type="checkbox"/>
LC 036G 11 S316	12.19	12.7	9.96	63.5	0.403	11.68	0.91	SS316	<input type="checkbox"/>
LC 036G 12 M	12.19	12.7	9.96	69.85	0.438	12.67	0.91	MW	<input type="checkbox"/>
LC 036G 12 S	12.19	12.7	9.96	69.85	0.368	12.67	0.91	SS	<input type="checkbox"/>
LC 036G 12 S316	12.19	12.7	9.96	69.85	0.368	12.67	0.91	SS316	<input type="checkbox"/>
LC 036G 13 M	12.19	12.7	9.96	76.2	0.403	13.69	0.91	MW	<input type="checkbox"/>
LC 036G 13 S	12.19	12.7	9.96	76.2	0.333	13.69	0.91	SS	<input type="checkbox"/>

Ilustración 47. Catálogo de resortes comerciales con nuestros requerimientos. Consultado en: [16]



CAD

El uso de CAD, CAM, y CAE es fundamental en un proyecto como el que se está realizando debido a la precisión y eficiencia que aportan. Cada una de estas herramientas en conjunto permite diseñar con detalle las partes del dispositivo, visualizando su estructura y asegurando un ensamblaje correcto. Además, facilita la creación de modelos tridimensionales que pueden ser analizados antes de construir prototipos físicos, lo que ahorra tiempo y recursos, por otro lado, traduce estos diseños en instrucciones para maquinaria de fabricación, garantizando una producción precisa y eficiente de los componentes, evitando errores costosos en la manufactura.

De igual manera juega un papel clave al simular el comportamiento del clasificador bajo condiciones reales, como estrés mecánico y vibraciones, asegurando que sea resistente y duradero. Además, estas herramientas permiten iterar y optimizar el diseño rápidamente, probando diferentes configuraciones sin necesidad de múltiples prototipos físicos. En conjunto, CAD, CAM y CAE permiten un desarrollo más ágil, personalizado y adaptable, lo que es esencial para cumplir con las necesidades del monitoreo de plagas en el campo de la citricultura.

El CAD (diseño asistido por computadora) es de vital importancia en nuestro proyecto porque nos proporciona la capacidad de crear modelos virtuales detallados de cada componente y aspecto de los sistemas. Esto nos permite visualizar y diseñar cada parte antes de la fabricación física, lo que reduce los errores y optimiza el proceso de diseño.

Al utilizar el CAD, podemos realizar iteraciones rápidas y realizar ajustes en el diseño según sea necesario, lo que nos permite perfeccionar y afinar cada aspecto antes de pasar a la etapa de fabricación. Esto garantiza que nuestros diseños sean precisos, funcionales y cumplan con los requisitos específicos del proyecto.

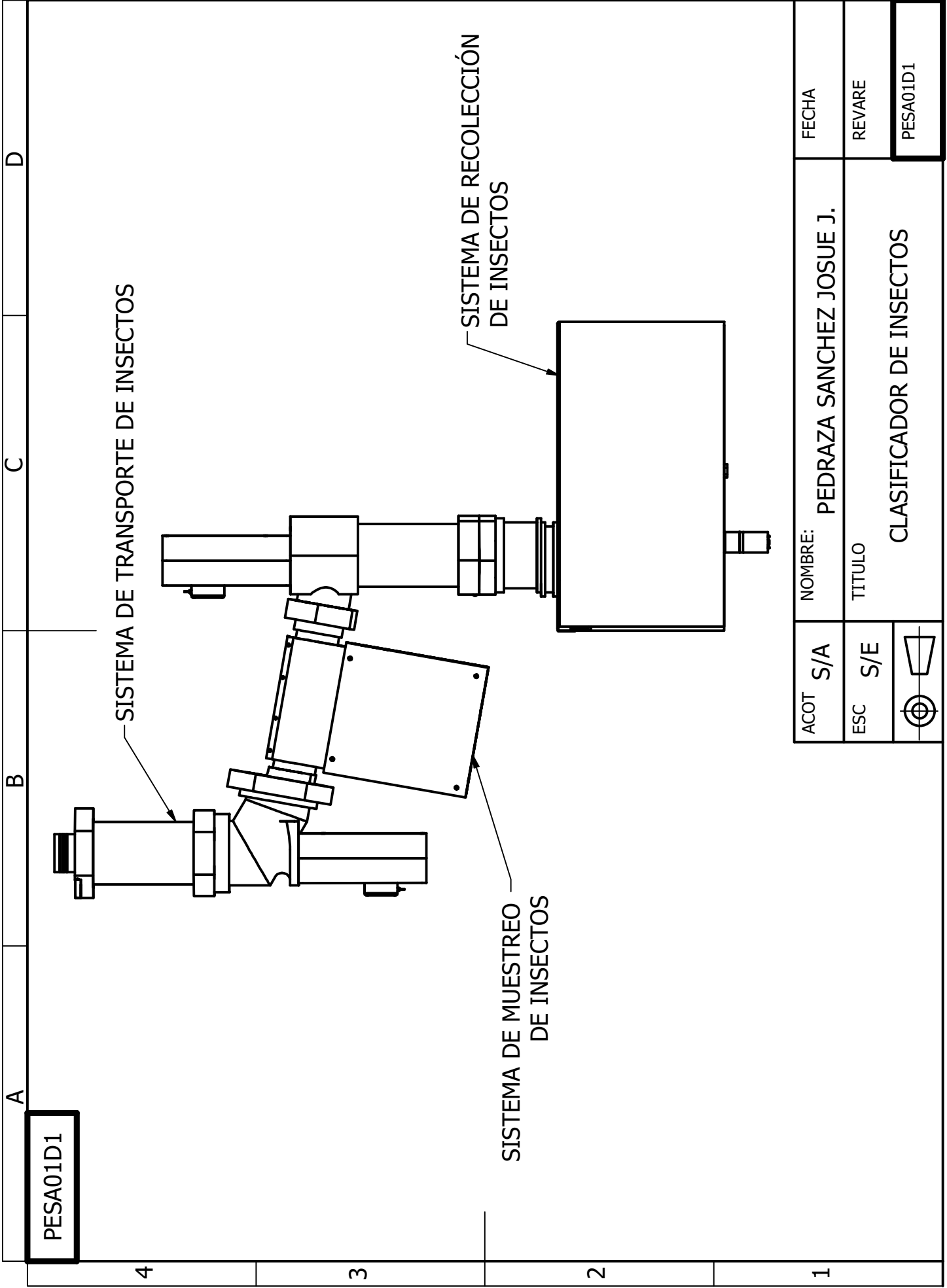
Además, el CAD nos permite simular el funcionamiento y realizar análisis previos a la fabricación, como pruebas de resistencia, estudios de flujo de fluidos o análisis de tensiones. Estas simulaciones nos ayudan a identificar posibles problemas y a optimizar el diseño para garantizar un rendimiento óptimo de los sistemas una vez que esté en funcionamiento.

A continuación, se exhibirán los modelos CAD de los diversos sistemas con el propósito de mostrar de forma técnica la estructura de nuestro diseño final. Estos modelos incluyen planos detallados de las partes más importantes, ensamblajes completos y listas de los materiales utilizados. Esta presentación técnica permitirá una comprensión más profunda de la arquitectura y funcionamiento de cada componente del proyecto, facilitando así la revisión y evaluación de la solidez del diseño en su conjunto.



Clasificador de insectos autónomo para monitoreo de plagas en la citricultura.

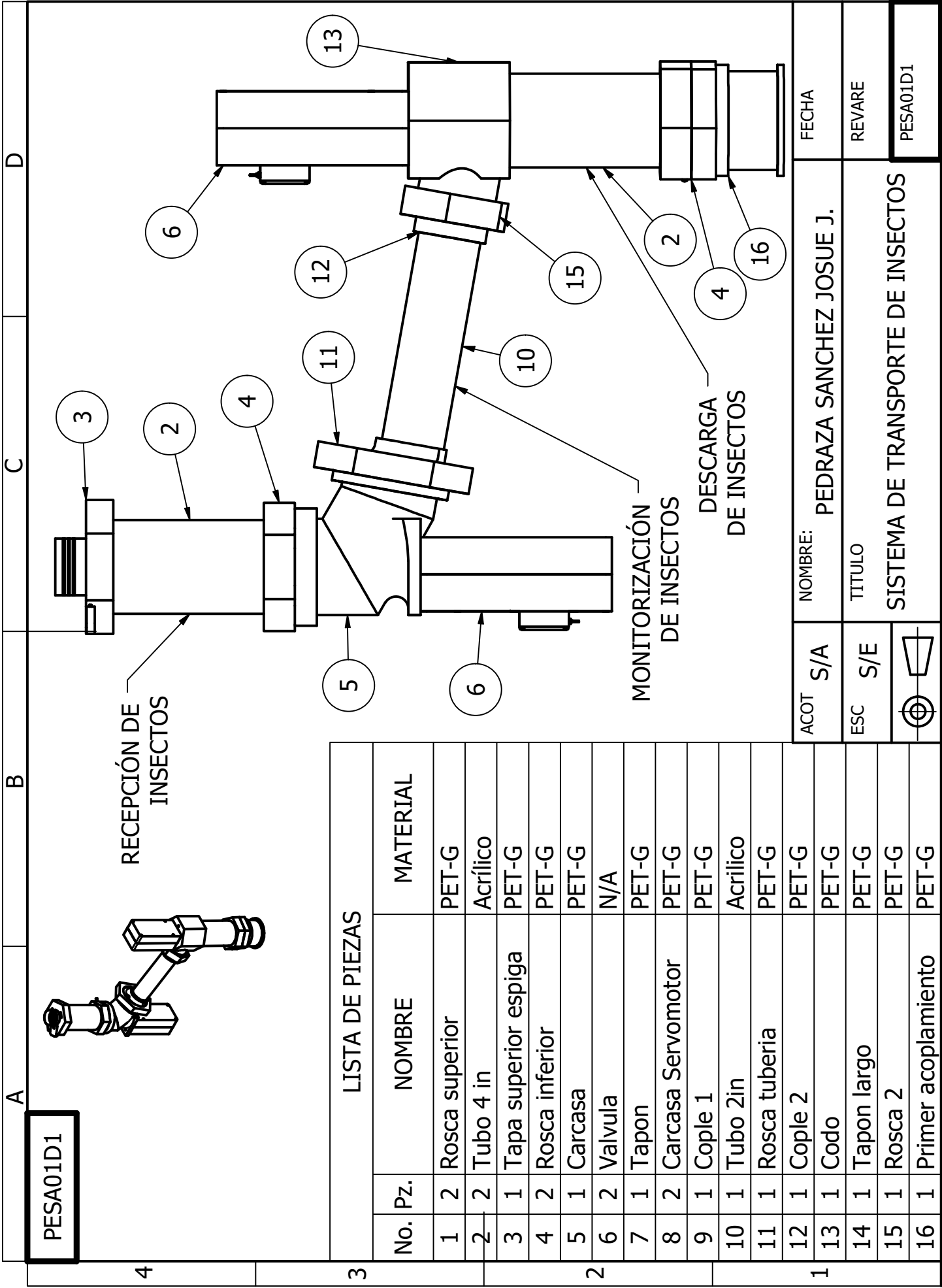
Ítem	Título	Descripción	Página
1	Clasificador de insectos	Esquema de los sistemas que conforman al Clasificador de Insectos Autónomo para la agricultura	63





Sistema de transporte de insectos

Ítem	Título	Descripción	Página
1	Sistema de transporte de insectos	Diagrama de partes del sistema de transporte de insectos	64
2	STI Zona de recepción de insectos	Explosivo de frasco de recepción de insectos	65
3	Servo válvula	Explosivo de servo válvulas	66
4	STI Zona de descarga de Insectos	Explosivo zona de descarga de insectos	67
5	STI Plano 1	Plano de partes: Tapa Espiga, Rosca Frascos	68
6	STI Plano 2	Plano de partes: Tubo, Rosca inferior	69
7	STI Plano 3	Plano de partes: Biela, Tapón, Soporte	70



PESA01D1

LISTA DE PIEZAS		
No. Pz.	NOMBRE	MATERIAL
1	2 Rosca superior	PET-G
2	2 Tubo 4 in	Acrílico
3	1 Tapa superior espiga	PET-G
4	2 Rosca inferior	PET-G
5	1 Carcasa	PET-G
6	2 Valvula	N/A
7	1 Tapon	PET-G
8	2 Carcasa Servomotor	PET-G
9	1 Cople 1	PET-G
10	1 Tubo 2in	Acrílico
11	1 Rosca tubería	PET-G
12	1 Cople 2	PET-G
13	1 Codo	PET-G
14	1 Tapon largo	PET-G
15	1 Rosca 2	PET-G
16	1 Primer acoplamiento	PET-G

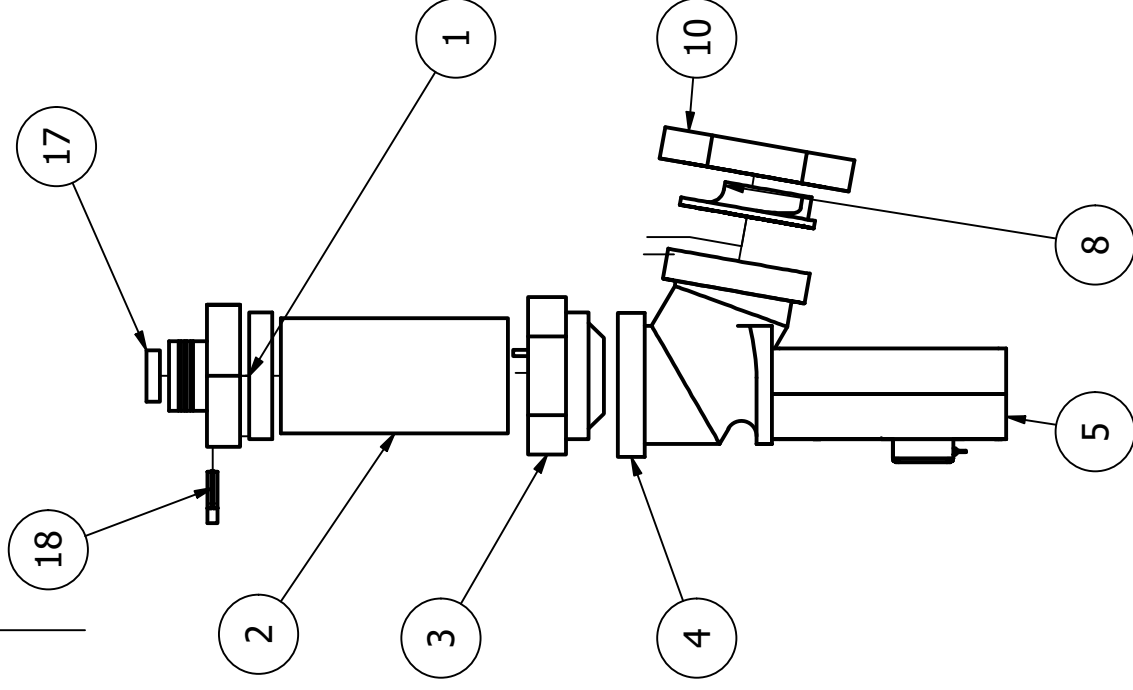
ACOT	S/A	NOMBRE:	PEDRAZA SANCHEZ JOSUE J.	FECHA
ESC	S/E	TITULO	SISTEMA DE TRANSPORTE DE INSECTOS	REVARE
				PESA01D1

A B C D

PESA01D1



ZONA DE RECEPCIÓN DE INSECTOS



LISTA DE PIEZAS

No. Pz.	NOMBRE	MATERIAL
1	Rosca superior	PET-G
2	Tubo 4 IN	Acrílico
3	Rosca inferior	PET-G
4	Valvula	PET-G
5	Servo-valvula	NA
8	Cople	PET-G
10	Rosca tubería	PET-G
16	Espiga	PET-G
17	Filtro	PET-G
18	Tapa mangueras	PET-G

ACOT S/A

ESC S/E



NOMBRE: PEDRAZA SANCHEZ JOSUE J.

TITULO

STI ZONA DE RECEPCIÓN DE INSECTOS

FECHA

REVARE

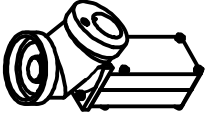
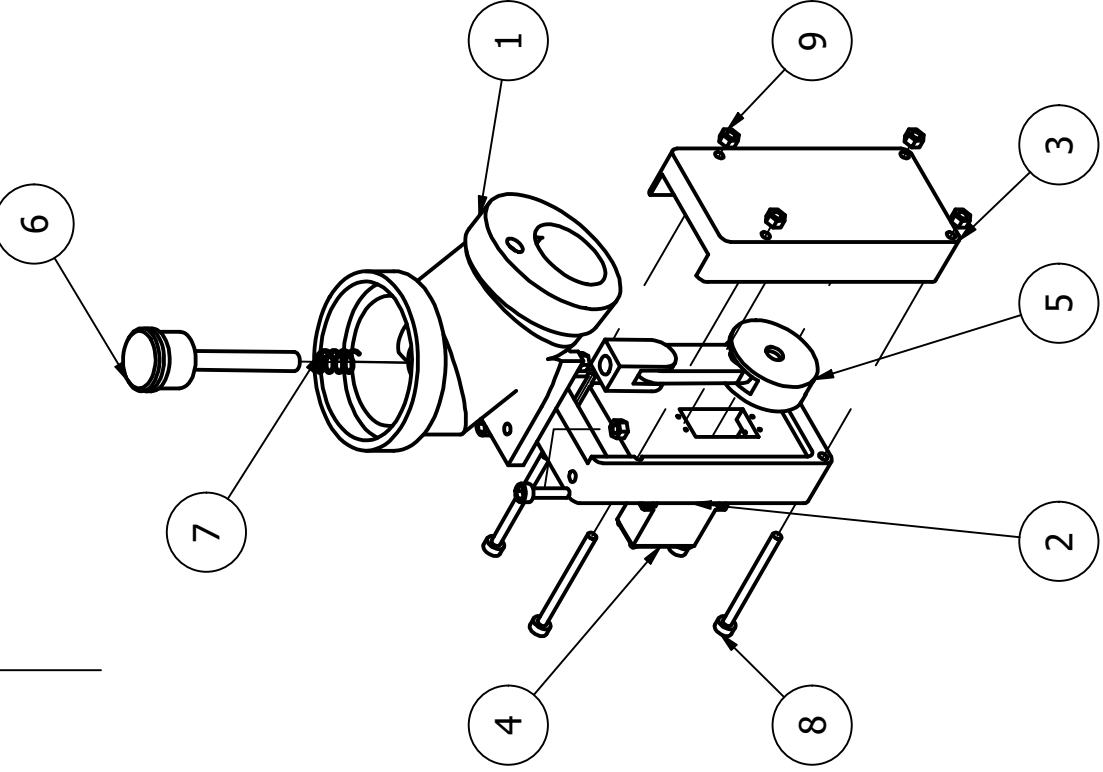

PESA01D1

4

3

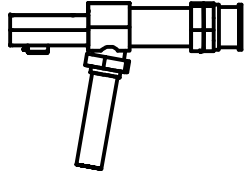
2

1

A	B	C	D																																	
<div data-bbox="162 210 235 304" style="border: 2px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">PESA01D1</div>																																				
4		3																																		
2	<p style="text-align: center;">LISTA DE PIEZAS</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">No. Pz.</th> <th style="width: 50%;">NOMBRE</th> <th style="width: 40%;">MATERIAL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>Valvula</td><td>PET-G</td></tr> <tr><td>2</td><td>Carcasa</td><td>PET-G</td></tr> <tr><td>3</td><td>Carcasa 2</td><td>PET-G</td></tr> <tr><td>4</td><td>Servo MG995</td><td>NA</td></tr> <tr><td>5</td><td>Viela manivela</td><td>PET-G</td></tr> <tr><td>6</td><td>Tapon</td><td>PET-G</td></tr> <tr><td>7</td><td>Resorte</td><td>ACERO INOX</td></tr> <tr><td>8</td><td>Tornillos M5</td><td>ACERO INOX</td></tr> <tr><td>9</td><td>Tuercas M5</td><td>ACERO INOX</td></tr> <tr><td>10</td><td>Tornillo m5</td><td>ACERO INOX</td></tr> </tbody> </table>			No. Pz.	NOMBRE	MATERIAL	1	Valvula	PET-G	2	Carcasa	PET-G	3	Carcasa 2	PET-G	4	Servo MG995	NA	5	Viela manivela	PET-G	6	Tapon	PET-G	7	Resorte	ACERO INOX	8	Tornillos M5	ACERO INOX	9	Tuercas M5	ACERO INOX	10	Tornillo m5	ACERO INOX
No. Pz.	NOMBRE	MATERIAL																																		
1	Valvula	PET-G																																		
2	Carcasa	PET-G																																		
3	Carcasa 2	PET-G																																		
4	Servo MG995	NA																																		
5	Viela manivela	PET-G																																		
6	Tapon	PET-G																																		
7	Resorte	ACERO INOX																																		
8	Tornillos M5	ACERO INOX																																		
9	Tuercas M5	ACERO INOX																																		
10	Tornillo m5	ACERO INOX																																		
1	<p>ACOT S/A</p> <p>ESC S/E</p> 	<p>NOMBRE: PEDRAZA SANCHEZ JOSUE J.</p> <p>TITULO: SERVO-VÁLVULA</p>	<p>FECHA: REVARE</p> <div style="border: 2px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">PESA01D1</div>																																	

A B C D

PESA01D1

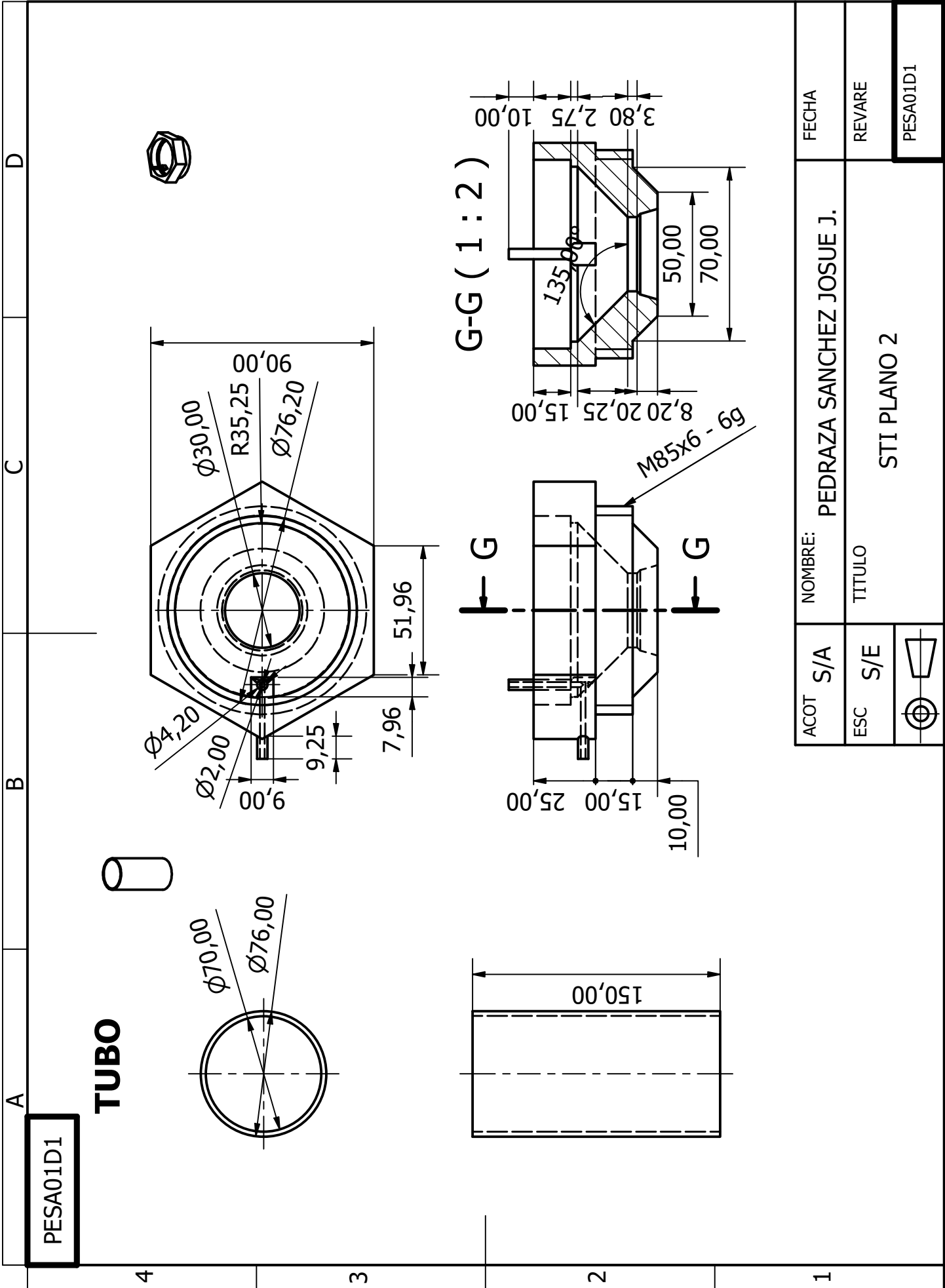


LISTA DE PIEZAS

No. Pz.	NOMBRE	MATERIAL
1	Rosca superior	PET-G
2	Tubo 4 IN	Acrilico
3	Rosca inferior	PET-G
5	Servo-Válvula	NA
9	Tubo 2IN	Acrilico
11	Cople 2	PET-G
12	Valvula 2	PET-G
13	Tapon flecha	PET-G
14	Tuerca tubería	PET-G
15	Acoplamiento	PET-G

ACOT	S/A	FECHA
ESC	S/E	REVARE
		PESA01D1

NOMBRE:	PEDRAZA SANCHEZ JOSUE J.
TITULO	STI ZONA DE DESCARGA DE INSECTOS

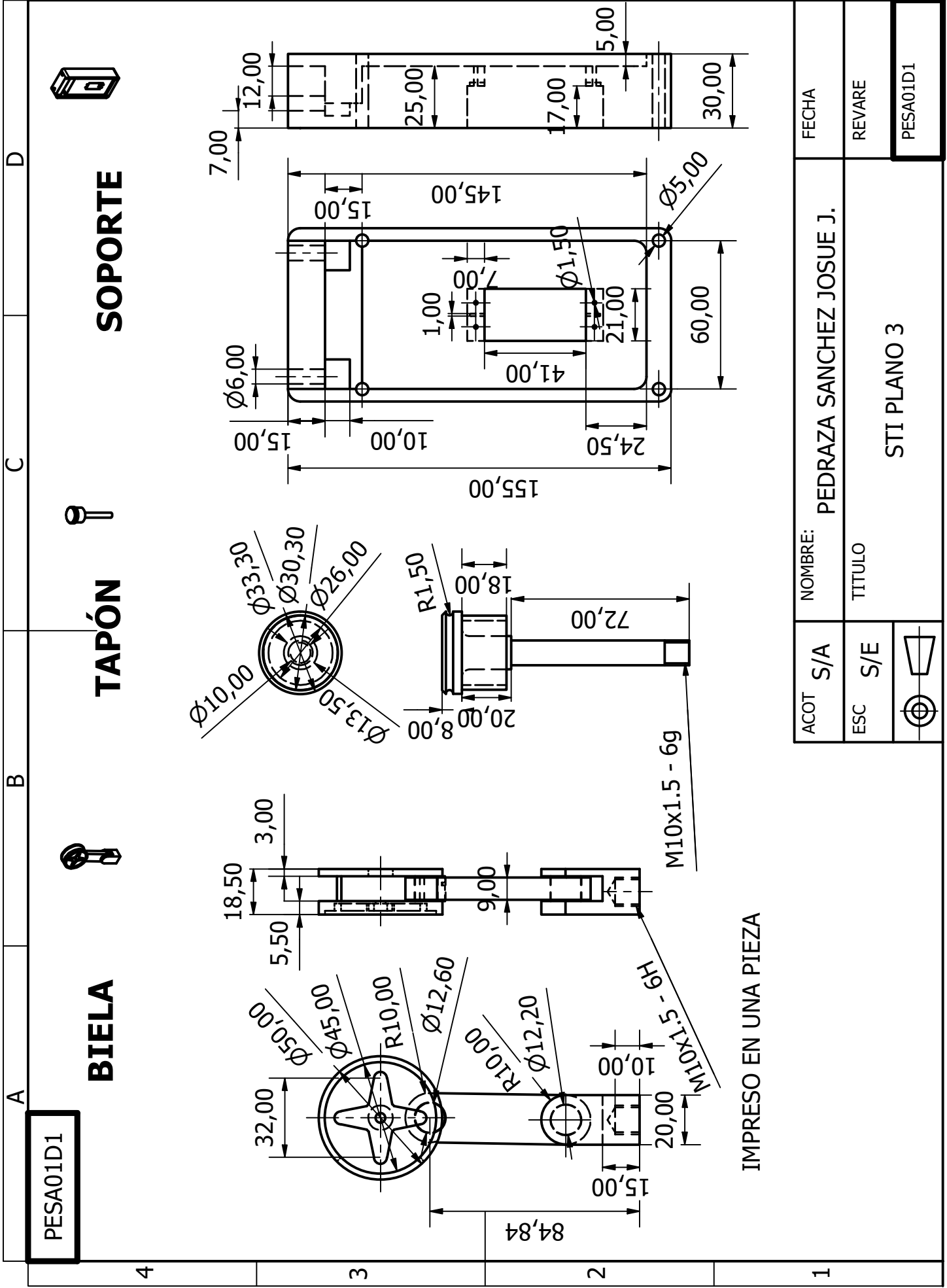


PESA01D1

TUBO

G-G (1:2)

ACOT S/A	NOMBRE:	FECHA
ESC S/E	PEDRAZA SANCHEZ JOSUE J.	REVARE
	TITULO	PESA01D1
	STI PLANO 2	

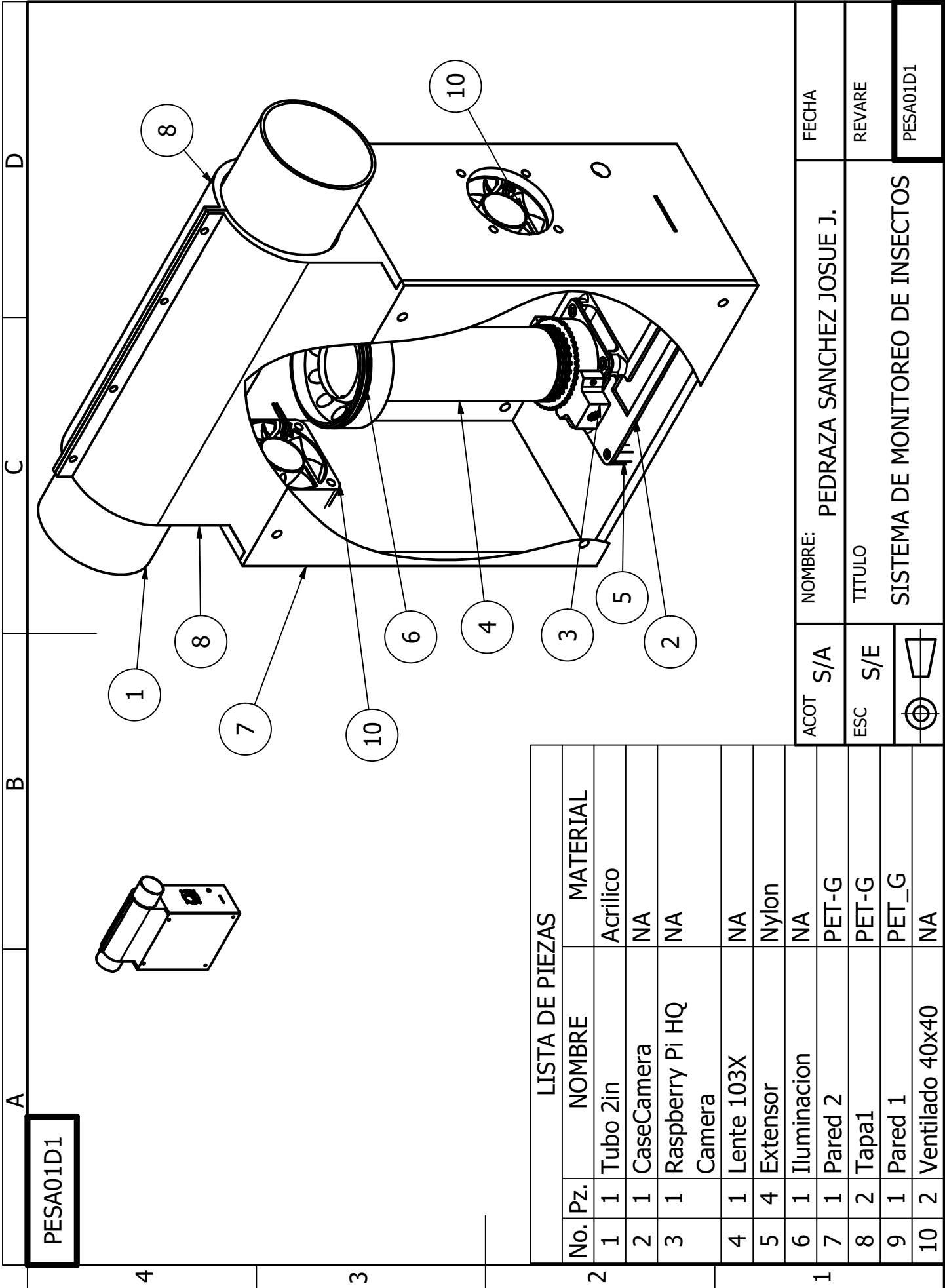


ACOT S/A	NOMBRE:	FECHA
ESC S/E	TITULO	REVARE
	STI PLANO 3	PESA01D1
	PEDRAZA SANCHEZ JOSUE J.	



Sistema de monitoreo de insectos.

Ítem	Título	Descripción	Página
1	Sistema de monitoreo de insectos	Diagrama de partes del sistema de monitoreo de insectos	73
2	SMI Plano 1	Planos: Sujetador, Tapa, Caja	74



A B C D

PESA01D1

4

3

2

1

LISTA DE PIEZAS		
No. Pz.	NOMBRE	MATERIAL
1	Tubo 2in	Acrilico
2	CaseCamera	NA
3	Raspberry Pi HQ Camera	NA
4	Lente 103X	NA
5	Extensor	Nylon
6	Illuminacion	NA
7	Pared 2	PET-G
8	Tapa1	PET-G
9	Pared 1	PET_G
10	Ventilado 40x40	NA

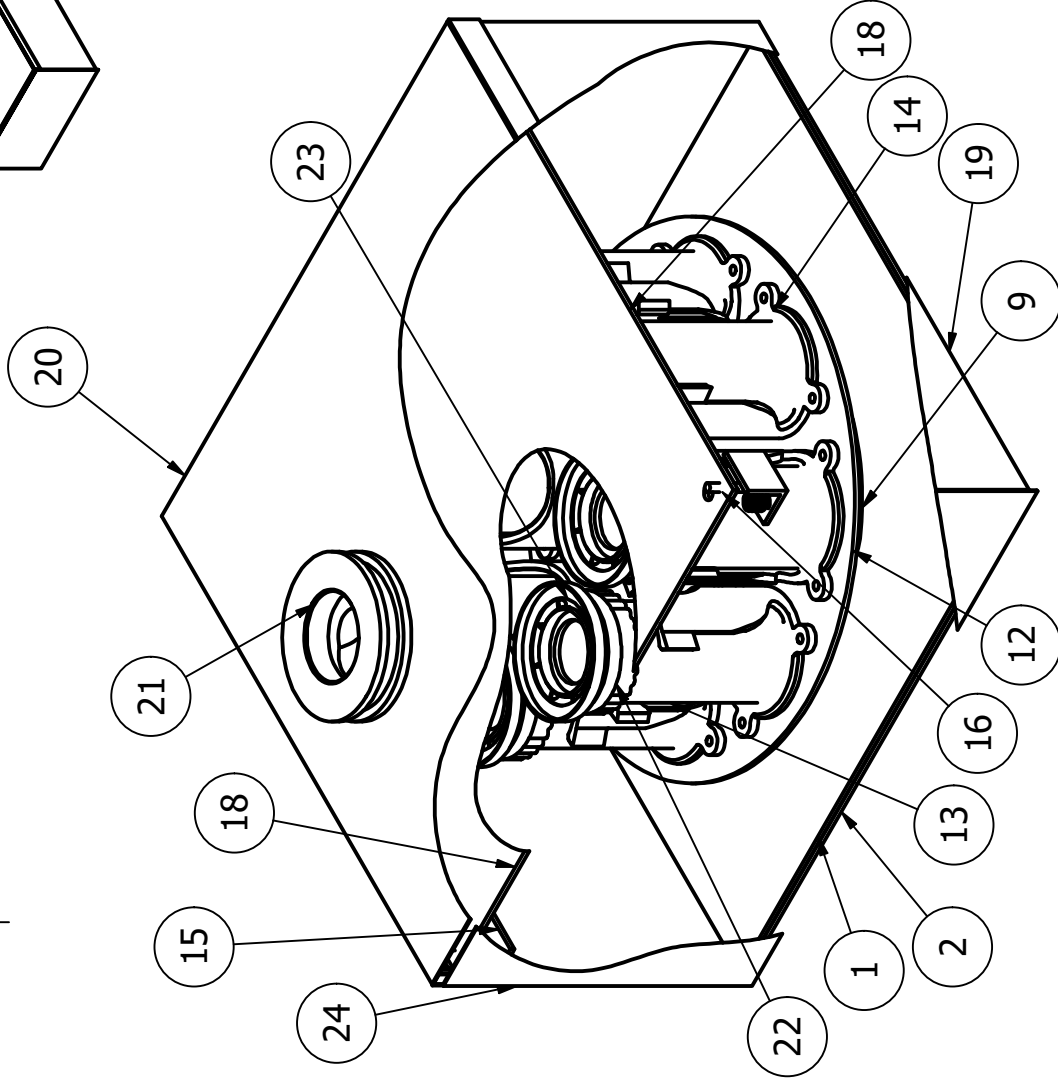
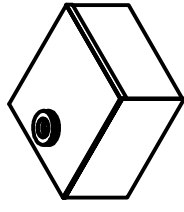
ACOT	S/A	NOMBRE:	PEDRAZA SANCHEZ JOSUE J.	FECHA
ESC	S/E	TITULO	SISTEMA DE MONITOREO DE INSECTOS	REVARE
				PESA01D1





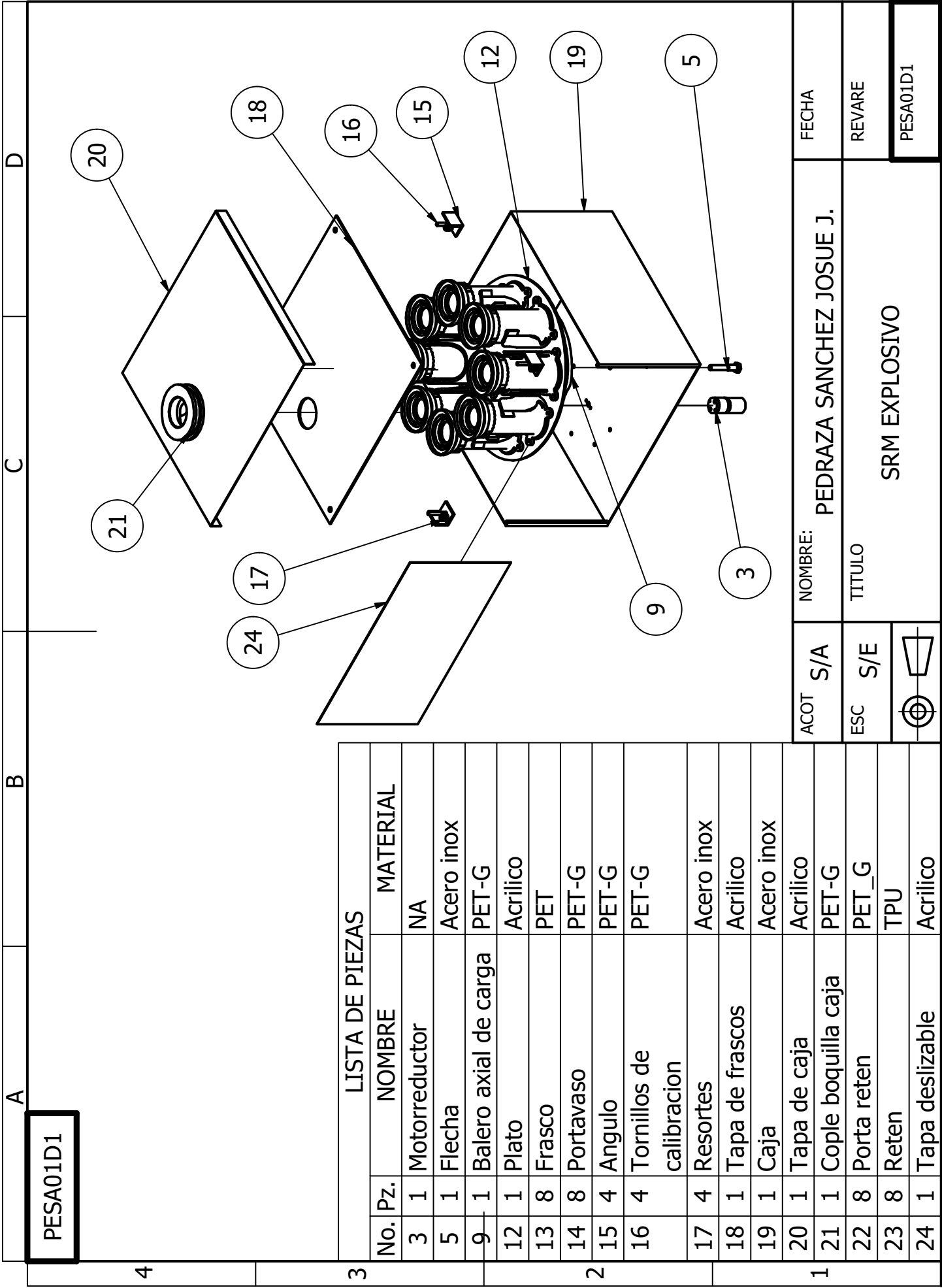
Sistema de recolección de insectos.

Ítem	Título	Descripción	Página
1	Sistema de recolección de insectos	Diagrama de partes del sistema de recolección de insectos	76
2	SRI Explosivo	Explosivo de Sistema de recolección de insectos	77
3	SRI Cruz de malta	Explosivo de cruz de malta	78
4	SRI Rotacional	Explosivo de partes superficie rotativa	79
5	SRI Plano 1	Plano de partes: Piñón de cruz de malta y cruz de malta	80
6	SRI Plano 2	Plano de partes: Caja de acero inoxidable, tapa de caja, balero axial	81
7	SRI Plano 3	Plano de partes: Porta frascos, Porta reten, Reten	82

A		B		C		D	
PESA01D1							
LISTA DE PIEZAS							
No. Pz.	NOMBRE	MATERIAL					
3	1 Motorreductor	NA					
4	1 Piñon Cruz de malta	PET-G					
5	1 Flecha	Acero inox					
6	1 Cruz de malta	PET-G					
7	1 Tuerca de flecha	Acero inox					
8	1 Balero	NA					
9	1 Balero axial de carga	PET-G					
10	1 Rondana	Acero inox					
11	1 Aro de arrastre	PET-G					
12	1 Plato	Acrilico					
13	8 Frasco	PET					
14	8 Portavaso	PET-G					
15	4 Angulo	PET-G					
16	4 Tornillos de calibracion	PET-G					
17	4 Resortes	Acero inox					
18	1 Tapa de frascos	Acrilico					
19	1 Caja	Acero inox					
20	1 Tapa de caja	Acrilico					
21	1 Cople boquilla caja	PET-G					
22	8 Porta reten	PET_G					
23	8 Reten	TPU					
24	1 Tapa deslizable	Acrilico					



ACOT	S/A	NOMBRE:	PEDRAZA SANCHEZ JOSUE J.	FECHA
ESC	S/E	TITULO	SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE INSECTOS	REVARE
 		PESA01D1		

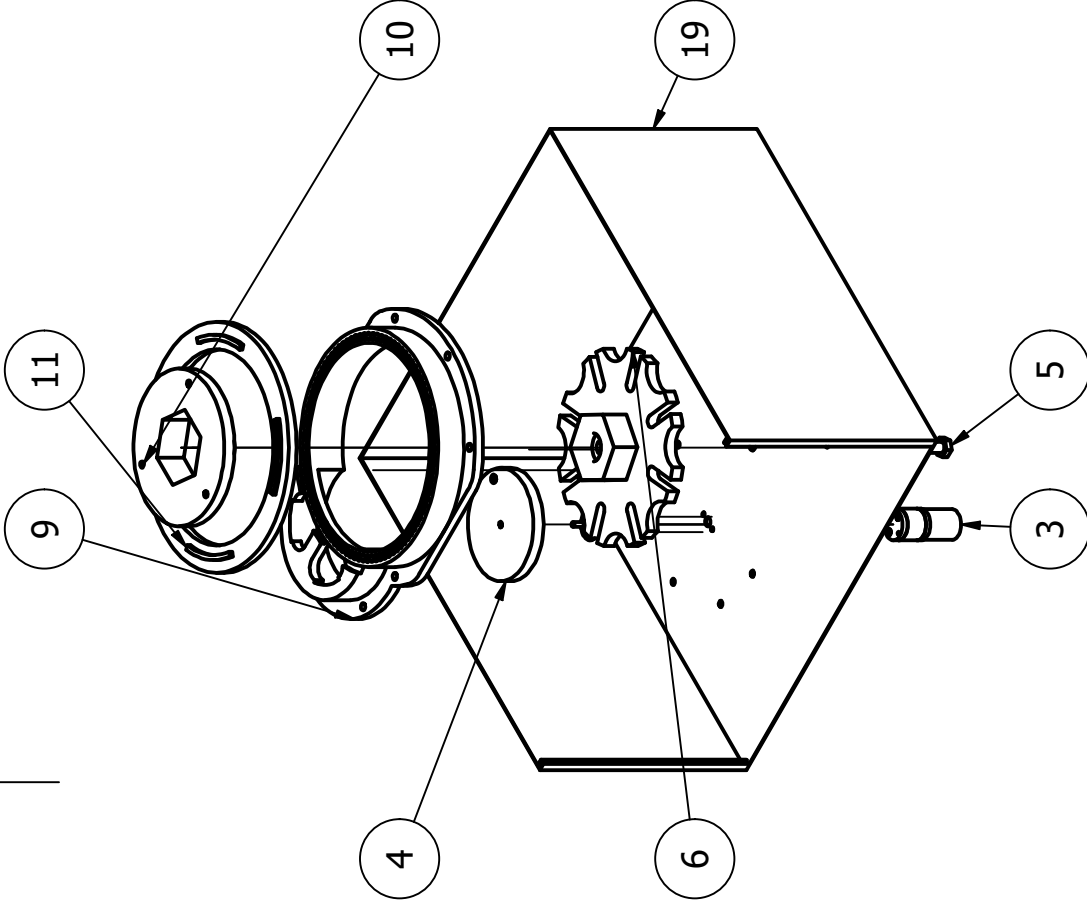
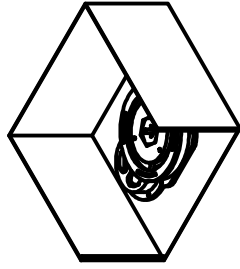


A		B		C		D	
PESA01D1							
LISTA DE PIEZAS							
No. Pz.	NOMBRE	MATERIAL					
3	Motorreductor	NA					
5	Flecha	Acero inox					
9	Balero axial de carga	PET-G					
12	Plato	Acrilico					
13	Frasco	PET					
14	Portavaso	PET-G					
15	Angulo	PET-G					
16	Tornillos de calibracion	PET-G					
17	Resortes	Acero inox					
18	Tapa de frascos	Acrilico					
19	Caja	Acero inox					
20	Tapa de caja	Acrilico					
21	Cople boquilla caja	PET-G					
22	Porta reten	PET_G					
23	Reten	TPU					
24	Tapa deslizable	Acrilico					

ACOT	S/A	NOMBRE:	PEDRAZA SANCHEZ JOSUE J.	FECHA	
ESC	S/E	TITULO	SRM EXPLOSIVO	REVARE	
					PESA01D1

A B C D

PESA01D1



LISTA DE PIEZAS

No. Pz.	NOMBRE	MATERIAL
3	Motorreductor	NA
4	Piñon Cruz de malta	PET-G
5	Flecha	ACERO INOX
6	Cruz de malta	PET-G
9	Balero axial de carga	PET-G
10	Rondana	PET-G
11	Balero parte superior	PET-G
19	Caja	ACERO INOX
25	Balines 3/8	ACERO INOX
26	Balero	NA

ACOT S/A

ESC S/E



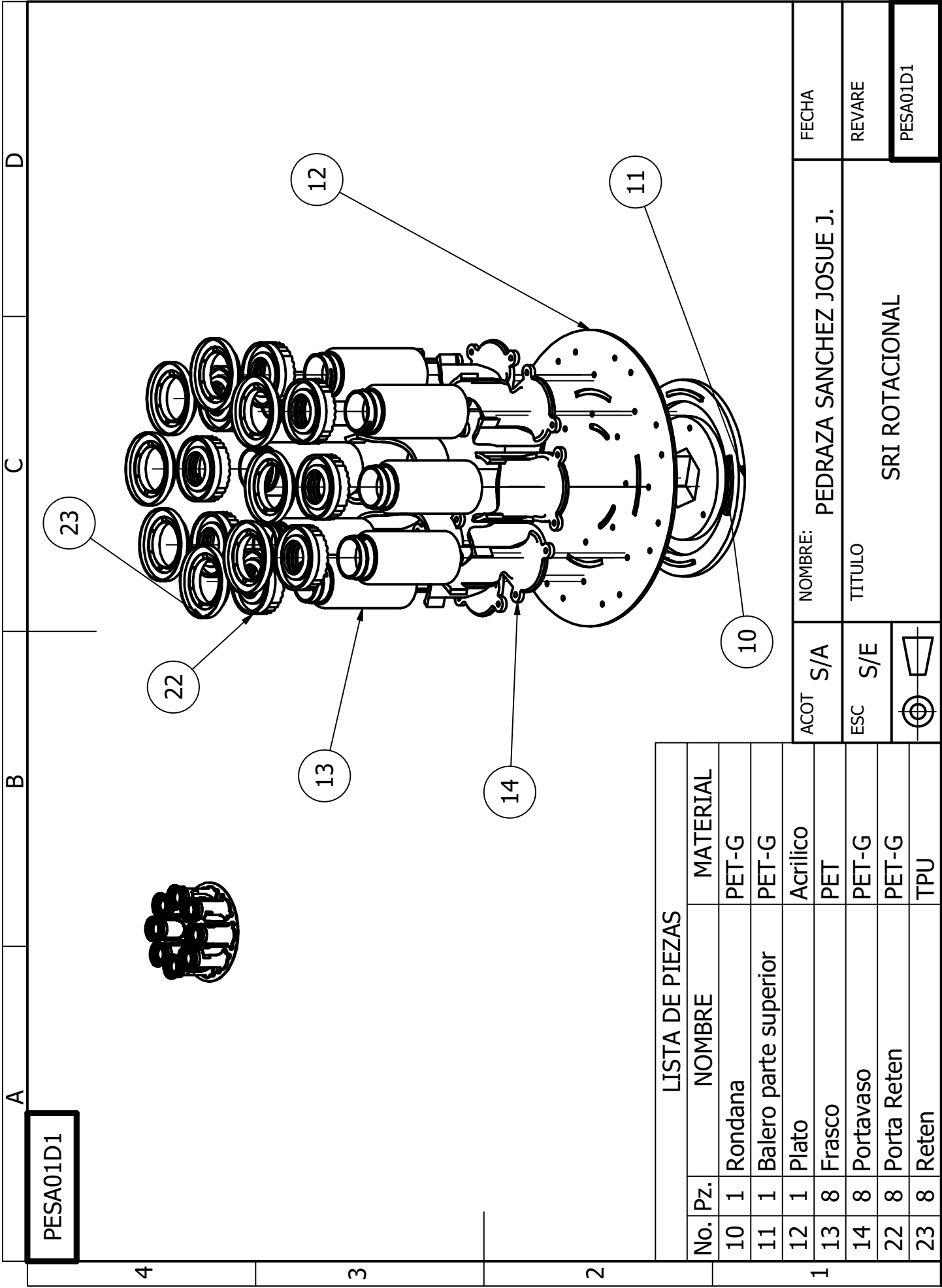
FECHA

REVARE

PESA01D1

NOMBRE: PEDRAZA SANCHEZ JOSUE J.

TITULO
SRI CRUZ DE MALTA



A		B		C		D	
PESA01D1							
LISTA DE PIEZAS							
No. Pz.	NOMBRE	MATERIAL	ACOT	S/A	NOMBRE:	FECHA	
10	Rondana	PET-G			PEDRAZA SANCHEZ JOSUE J.	REVARE	PESA01D1
11	Balero parte superior	PET-G					
12	Plato	Acrilico			TITULO		
13	Frasco	PET					
14	Portavaso	PET-G					
22	Porta Reten	PET-G					
23	Reten	TPU					

A

B

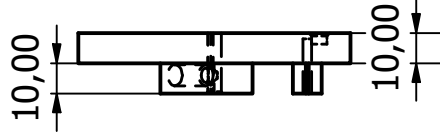
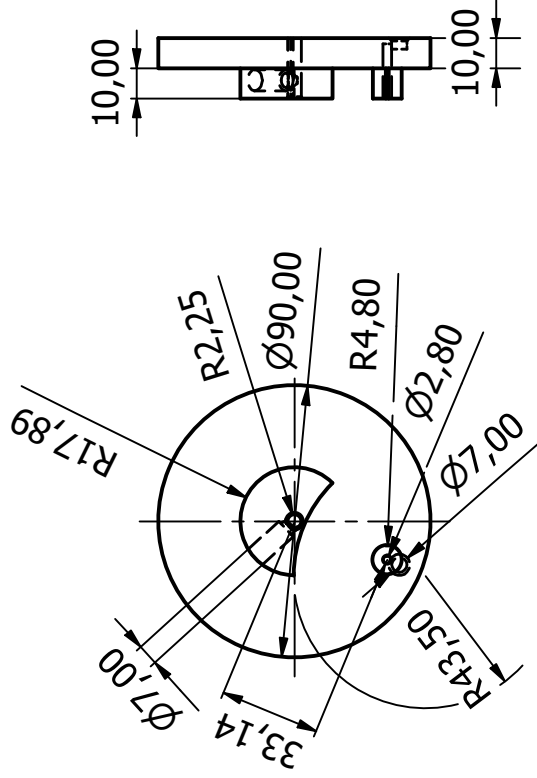
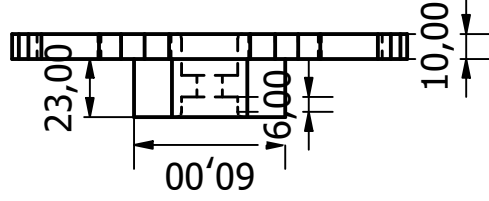
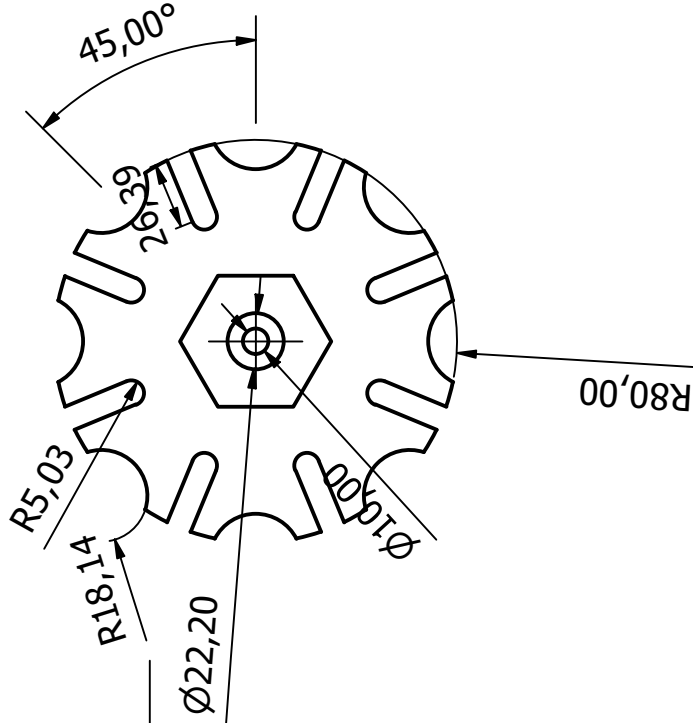
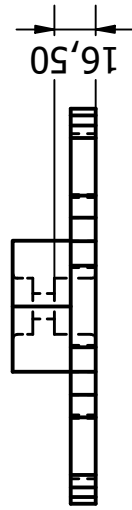
C

D

PESA01D1

CRUZ DE MALTA

PIÑÓN CRUZ DE MALTA



4

3

2

1

ACOT S/A

NOMBRE: PEDRAZA SANCHEZ JOSUE J.

FECHA

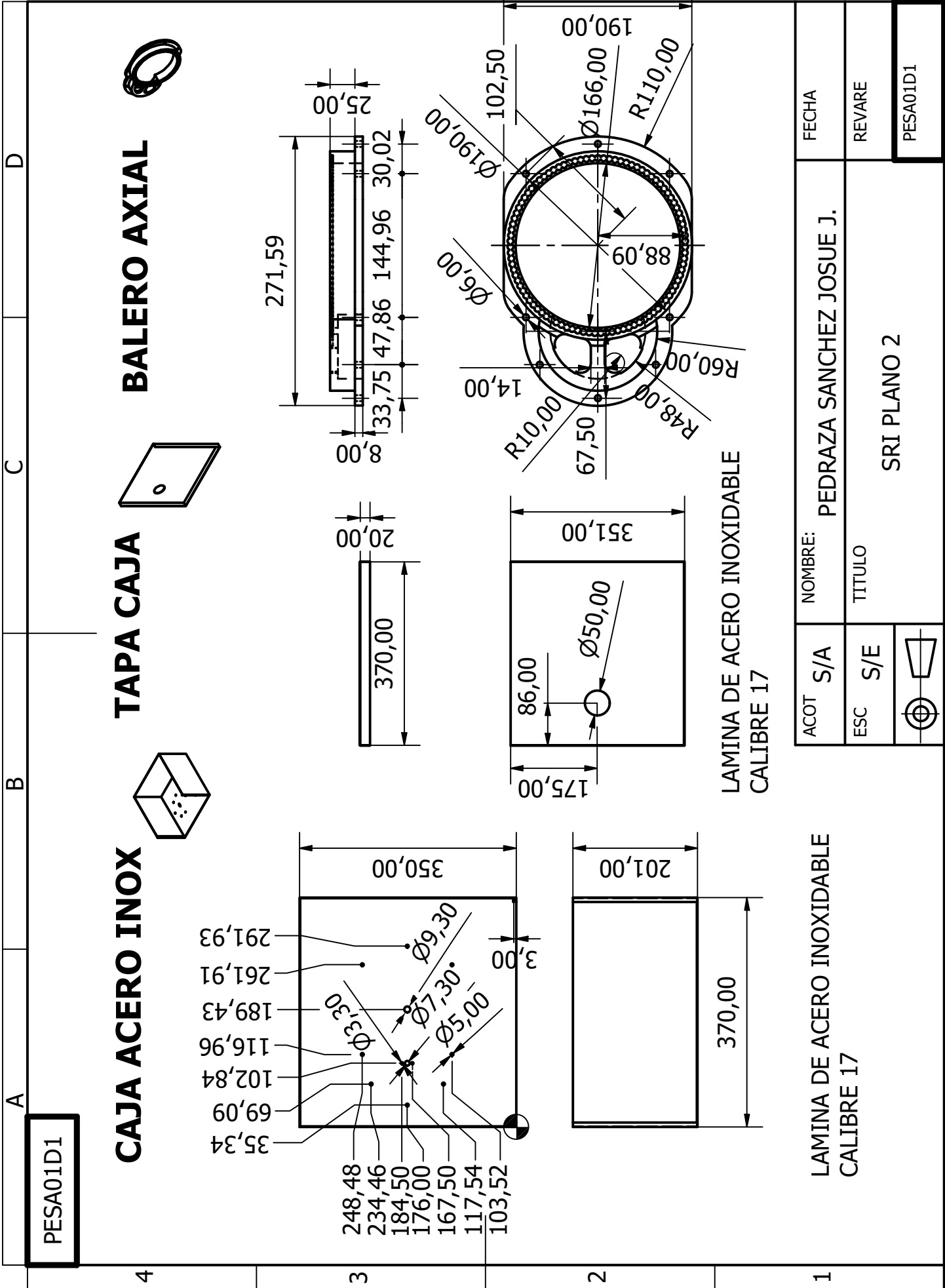
ESC S/E

TITULO

REVARE

SRI PLANO 1

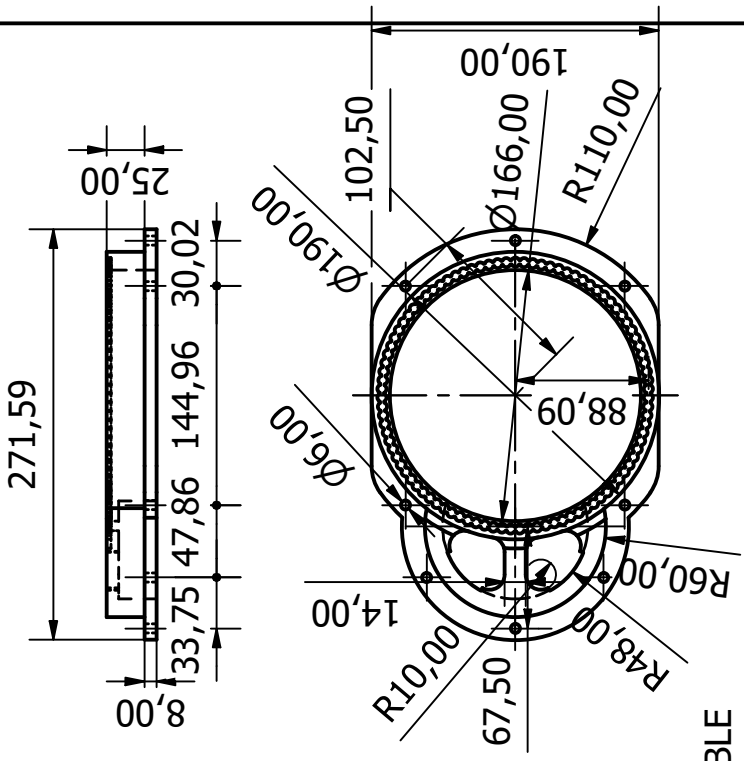
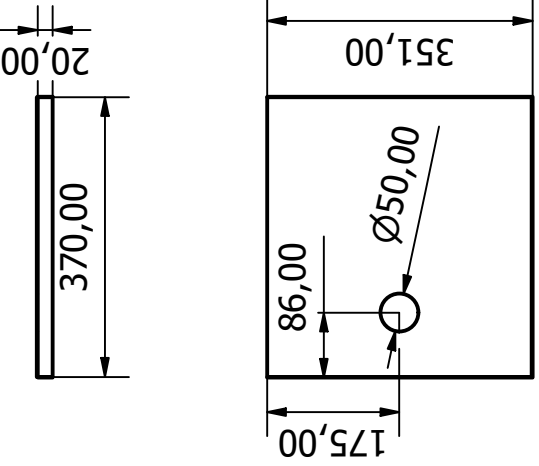
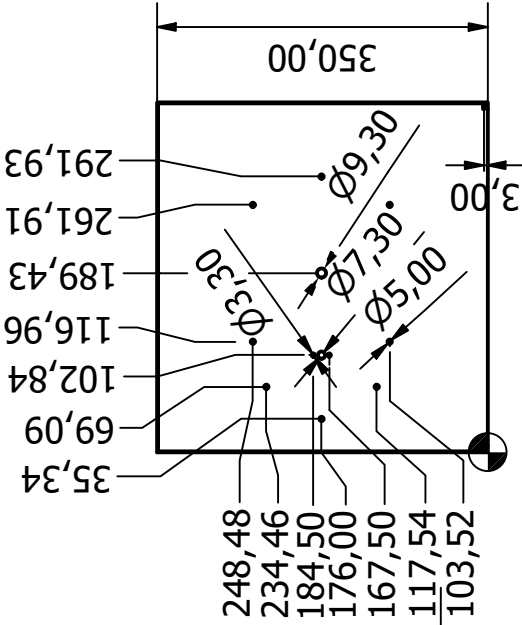
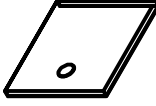
PESA01D1



PESA01D1

CAJA ACERO INOX

TAPA CAJA



LAMINA DE ACERO INOXIDABLE CALIBRE 17

LAMINA DE ACERO INOXIDABLE CALIBRE 17

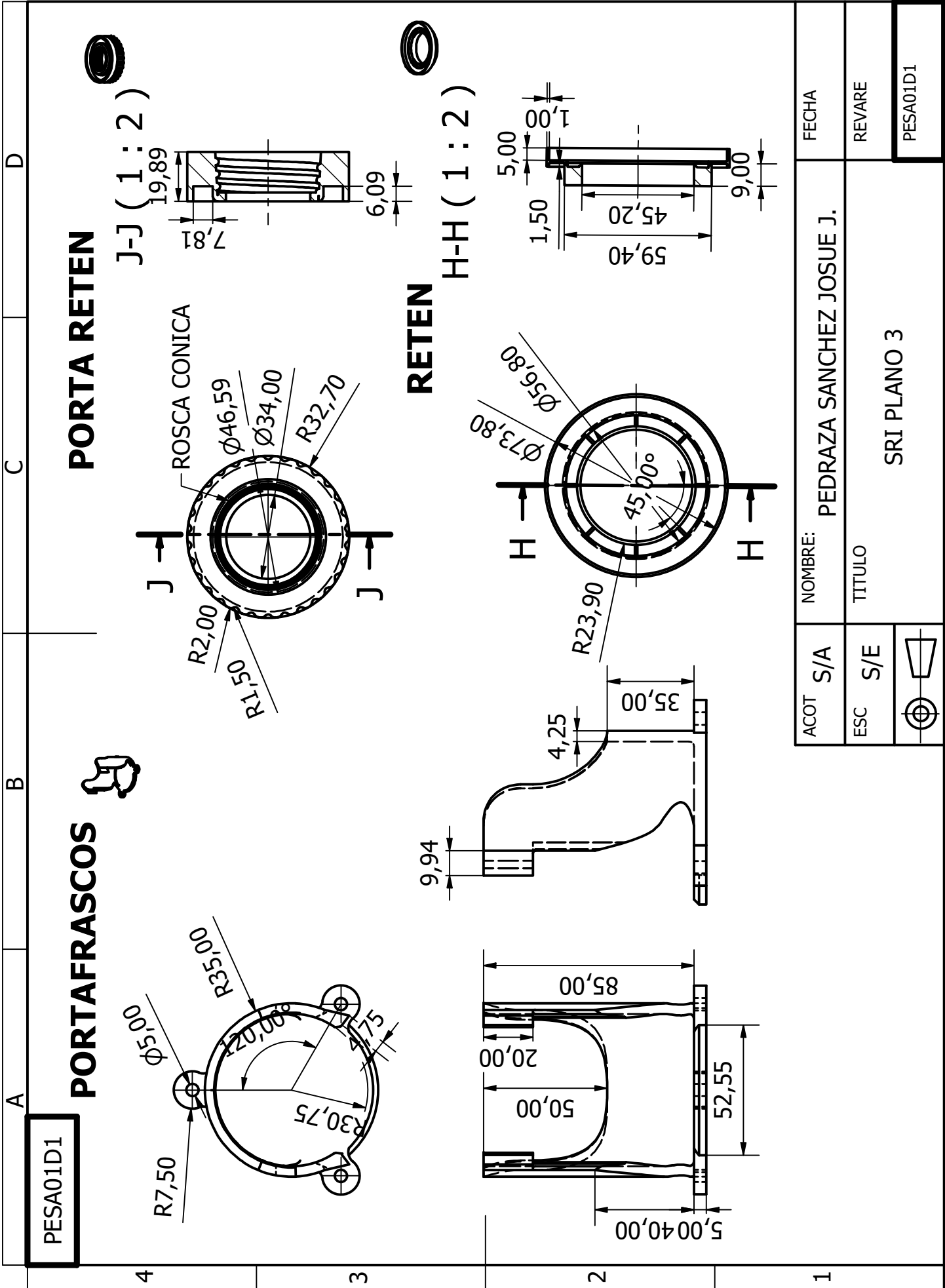
NOMBRE: PEDRAZA SANCHEZ JOSUE J.

TITULO: SRI PLANO 2

FECHA:

REVARE

PESA01D1



PESA01D1

PORTAFRASCOS



PORTA RETEN

J-J (1:2)

RETEN

H-H (1:2)

ACOT	S/A	NOMBRE:	PEDRAZA SANCHEZ JOSUE J.	FECHA
ESC	S/E	TITULO	SRI PLANO 3	REVARE
				PESA01D1



CAM

El CAM (Manufactura Asistida por Computadora) es una tecnología que utiliza software para controlar maquinaria y procesos de manufactura. A partir de los modelos digitales generados en sistemas CAD (Diseño Asistido por Computadora), el CAM crea instrucciones para guiar la operación de máquinas CNC (Control Numérico por Computadora), impresoras 3D u otros equipos de producción automatizada.

Es importante porque mejora la precisión y eficiencia en la manufactura, reduciendo errores y desperdicios, optimizando tiempos de producción, y permitiendo la creación de piezas complejas con alta exactitud. Además, el CAM facilita la producción en serie de componentes, mejorando la consistencia de los resultados.

La impresión 3D se incorporó en este proyecto como parte central del CAM (fabricación asistida por computadora) en ingeniería. Esto se debe a que implica la utilización de software y hardware controlados por computadora para producir objetos físicos a partir de modelos de diseño asistidos por computadora (CAD). Uno de los aspectos clave que caracteriza a la impresión 3D como CAM es el control digital del proceso de laminación de los archivos CAD que representan nuestras piezas. Estos archivos CAD son transformados en instrucciones en formato G-code, que luego se transmiten a la máquina para su fabricación.

La impresión 3D proporciona una automatización precisa de los procesos de fabricación, lo que elimina la posibilidad de errores, deficiencias o pérdidas de tiempo que podrían surgir si se realizaran manualmente. Además, este proceso permite la optimización de parámetros como el peso, la resistencia estructural y los tiempos de fabricación, entre otros aspectos importantes.

Una de las ventajas más destacadas de la manufactura aditiva es su capacidad para crear piezas personalizadas, adaptadas a las necesidades específicas de nuestro proyecto. Esto se ve reflejado en una mayor flexibilidad en el diseño y la producción, lo que permite utilizar formas complejas y realizar adaptaciones precisas según los requerimientos del proyecto. En resumen, la implementación de la impresión 3D como parte del CAM en este proyecto ofrece una solución eficiente y versátil para la fabricación de componentes precisos y adaptados a las necesidades del proyecto.

Para realizar las impresiones 3D de acuerdo con los requisitos del proyecto, se establecieron una serie de especificaciones y directrices para el proceso de impresión 3D. Estas recomendaciones incluyen:



Recomendaciones de impresión:

- Diseñar el modelo CAD teniendo en cuenta que su manufactura será por impresión 3D, pero si es posible se debe hacer la consideración de posibles procesos de fabricación futuros.

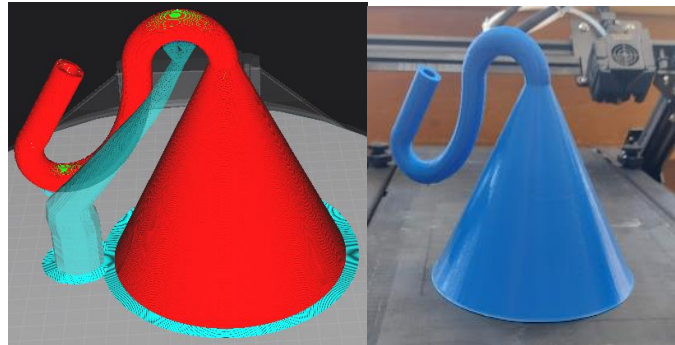


Ilustración 48. Pieza diseñada para ser impresa en 3D. (Elaboración propia)

- Evitar cambios bruscos de temperatura y ángulos rectos o esquinas pronunciadas que puedan dificultar la impresión o comprometer la integridad estructural de la pieza.



Ilustración 49. Defecto de impresión Warping por ángulos rectos. (Elaboración propia)

- Se pueden imprimir mecanismos de varios cuerpos en un mismo modelo, pero es crucial considerar las tolerancias necesarias para un ensamblaje adecuado.

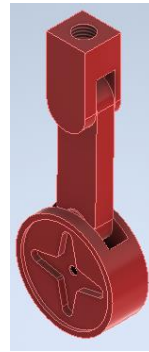


Ilustración 50. Biela impresa en un solo modelo. (Elaboración propia)

- Tener en cuenta que la textura de las superficies puede variar dependiendo de la orientación de la pieza en la plataforma de impresión y ubicación de soportes.



Ilustración 51. Piezas con diferente textura dependiendo la orientación de impresión. (Elaboración propia)

- Los detalles excesivamente pequeños pueden no imprimirse correctamente y pueden perderse en el resultado final.



Ilustración 52. Ejemplificación de piezas con detalles imprimibles (Letras grabadas). Obtenido de: [17]

- El tamaño de la pieza debe ser menor que el volumen de impresión disponible en la impresora 3D utilizada.



DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN CLASIFICADOR DE INSECTOS AUTÓNOMO PARA EL MONITOREO DE PLAGAS EN LA CITRICULTURA.

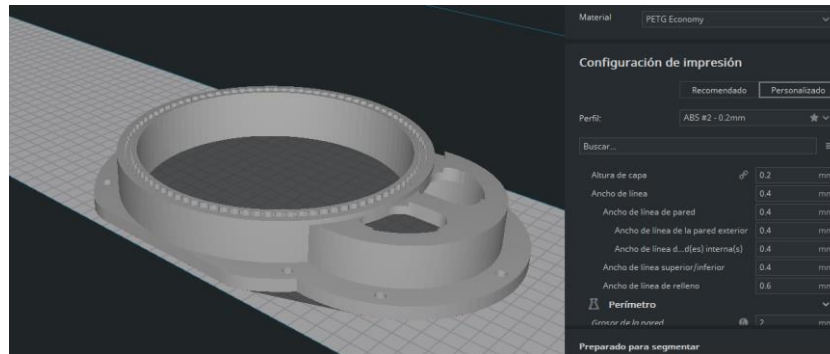


Ilustración 53. Pieza impresa en impresora 3D con eje Z infinito. (Elaboración propia)

- Para piezas que contienen fluidos, es recomendable aumentar el número de líneas de pared y el grosor superior e inferior para evitar infiltraciones y fugas.

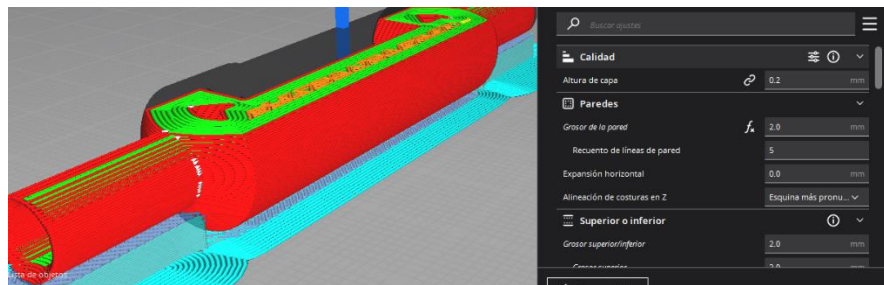


Ilustración 54 .Espiga con refuerzo en parámetros de grosor. (Elaboración propia)

- Se puede imprimir en voladizo, pero es esencial considerar parámetros como la refrigeración y la velocidad de impresión para asegurar la calidad de la pieza.

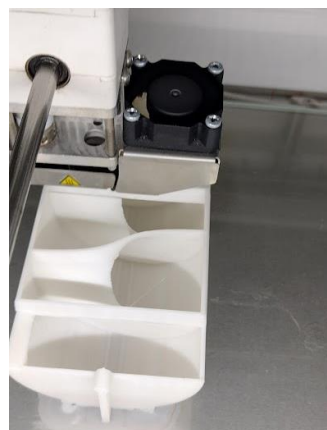


Ilustración 55. Pieza impresa en voladizo sin soportes. (Elaboración propia)

- Evitar partes colgantes en el diseño para minimizar la necesidad de soportes adicionales y optimizar el uso de material y tiempo de impresión.



DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN CLASIFICADOR DE INSECTOS AUTÓNOMO PARA EL MONITOREO DE PLAGAS EN LA CITRICULTURA.

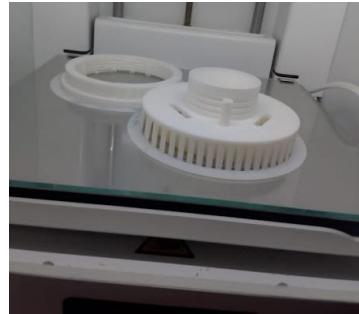


Ilustración 56. Ejemplificación de partes colgantes impresas en 3D. (Elaboración propia)

- Se puede seleccionar un porcentaje adecuado de relleno para equilibrar el tiempo de impresión, el peso y el consumo de material.

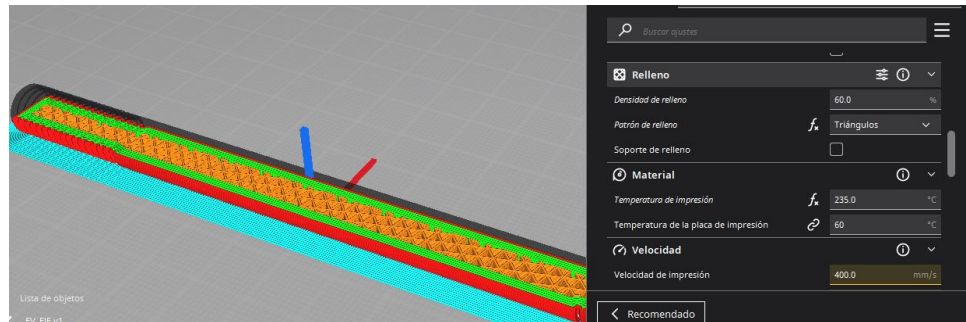


Ilustración 57. Pieza impresa con 60% de relleno. (Elaboración propia)

- La orientación de la pieza durante la impresión puede influir en sus propiedades mecánicas y ayudar a reducir la necesidad de soportes, así como el consumo de material y tiempo de impresión.



Ilustración 58. Flecha impresa en 3D. Orientada para maximizar sus propiedades mecánicas. (Elaboración propia)



- Dependiendo de la superficie de contacto de la pieza con la plataforma de impresión, puede ser necesario aplicar adhesivos o bordes para evitar el desprendimiento durante la impresión.

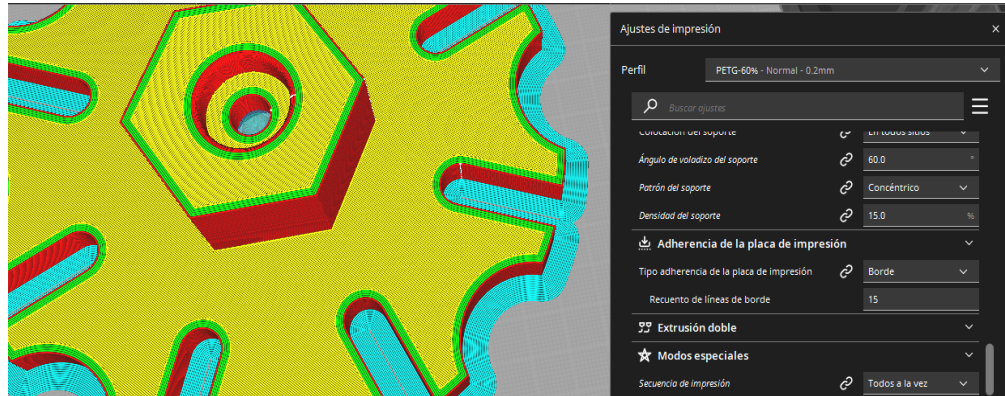


Ilustración 59. Pieza impresa con borde para evitar desprendimiento. (Elaboración propia)

- Es recomendable imprimir las piezas con agujeros y roscas necesarios, ya que el mecanizado posterior puede no ser viable.

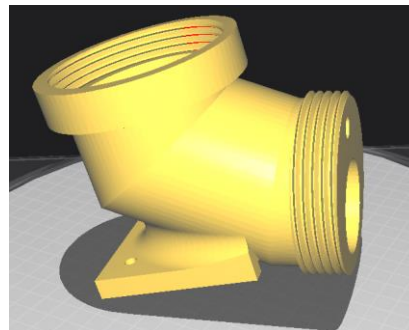


Ilustración 60. Pieza impresa con agujeros y roscas necesarias. (Elaboración propia)

- Trabajar con cuerdas y medidas estandarizadas dentro de lo posible.



DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN CLASIFICADOR DE INSECTOS AUTÓNOMO PARA EL MONITOREO DE PLAGAS EN LA CITRICULTURA.



Ilustración 61. Piezas impresas con cuerdas estandarizada. (Elaboración propia)

- Se debe tener en cuenta que las tolerancias pueden verse afectadas por posibles defectos de impresión, por lo que es importante realizar pruebas y ajustes según sea necesario durante el proceso de diseño y fabricación.



Ilustración 62. Piezas impresas con tolerancias para poder ser impresas en una misma pieza. (Elaboración propia)

- Es esencial considerar que los estudios de análisis de elementos finitos (CAE) realizados en este proyecto se basaron en la suposición de que las piezas eran sólidas. Sin embargo, con la impresión 3D, las piezas no se imprimen como sólidas al 100%, ya que se utilizan estructuras internas para optimizar el uso de material y reducir el peso. Por lo tanto, estos estudios CAE deben considerarse como una referencia aproximada y con cierto factor de seguridad, ya que las propiedades mecánicas pueden variar debido a la estructura interna de la pieza impresa en 3D. Es importante realizar pruebas y validaciones adicionales para garantizar que las piezas impresas cumplan con los requisitos de rendimiento y seguridad del proyecto.



DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN CLASIFICADOR DE INSECTOS AUTÓNOMO PARA EL MONITOREO DE PLAGAS EN LA CITRICULTURA.

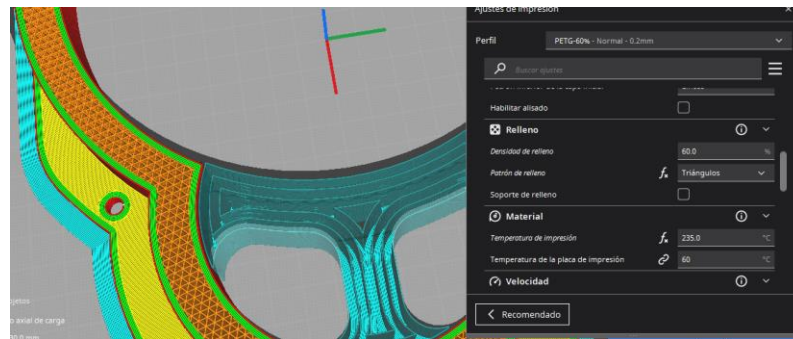


Ilustración 63 Pieza impresa con un 60% de relleno. (Elaboración propia)

Todas estas directrices fueron necesarias ser consideradas para el desarrollo de más del 80% de las piezas fabricadas para el proyecto. Debido a que en su mayoría se realizaron por este proceso.



CAE

Para validar nuestra selección de materiales y garantizar un funcionamiento óptimo, recurrimos a estudios adicionales que complementaron nuestros datos, con la ayuda del CAE (Ingeniería Asistida por Computadora) y una de sus herramientas fundamentales el análisis de elementos finitos.

Estos estudios fueron necesarios para evaluar la resistencia y durabilidad de las piezas en diversas condiciones de carga y operación. Nos permitieron anticipar cómo se comportarían las piezas frente a diferentes escenarios, optimizando así el diseño para ahorrar materiales, reducir peso y garantizar un rendimiento óptimo del sistema. Además, el CAE contribuyó significativamente a la reducción de prototipos físicos, lo que resultó en ahorros tanto en material como en costos de desarrollo.

Uno de los beneficios clave de estos estudios fue la identificación de puntos críticos en las piezas, lo que nos permitió realizar ajustes y mejoras antes de la fabricación. Esto nos aseguró que el diseño final fuera robusto y confiable.

A continuación, se presentan algunos de los estudios específicos realizados utilizando CAE para validar y optimizar nuestro diseño.

Ítem	Título	Descripción	Página
1	Empaque de frascos.	Estudio de deformación plástica de empaques para frascos	96
2	Porta frascos	Estudios progresivos de deformación plástica de porta frascos	94
3	Piñón de cruz de malta	Estudio de deformación plástica de piñón de cruz de malta	100
4	Cruz de malta	Estudio de deformación plástica de cruz de malta	102
4	Flecha de válvula	Estudio de deformación plástica de flecha de válvulas	104
5	Piñón de biela de válvula	Estudio de deformación plástica de piñón de biela de válvula	80



Empaques de frascos.

Para diseñar el revólver, se priorizó la hermeticidad de los frascos que contendrían los insectos después de la inspección. Para lograr esto, se ideó una tapa común que permitiera el deslizamiento de los frascos hacia una abertura específica. En esta abertura, los frascos estarían dispuestos para recibir los insectos ya inspeccionados, asegurando así una transición fluida entre los procesos. Se desarrolló un empaque especialmente diseñado para mantener la hermeticidad durante el cambio de frascos, lo que implicó la realización de análisis de elementos finitos (CAE) para determinar la forma óptima del empaque y su capacidad de deformación para garantizar la continuidad de la hermeticidad entre la placa y el frasco.

Condiciones generales de los estudios:

Objetivo general y configuración:

Objetivo del diseño	Punto único
Tipo de estudio	Análisis estático
Fecha de la última modificación	07/03/2024, 06:34 p. m.
Estado de modelo	[Principal]
Detectar y eliminar modos de cuerpo rígido	No

Propiedades físicas

Material	Plástico PET
Densidad	1.541 g/cm ³

Configuración de malla:

Tamaño medio de elemento (fracción del diámetro del modelo)	0.1
Tamaño mínimo de elemento (fracción del tamaño medio)	0.2
Factor de modificación	1.5
Ángulo máximo de giro	60 gr
Crear elementos de malla curva	Sí

En la Ilustración 64 “Estudio de empaque. Von Mises”, se presentan los esfuerzos de tensión de Von Mises de este empaque, lo cual es crucial ya que permite evaluar si la tensión generada supera los límites de resistencia del material. Este análisis es esencial para verificar la viabilidad estructural del diseño. Es importante destacar que, aunque los resultados indican que las tensiones no exceden los límites del material, se debe tener en cuenta que la fabricación mediante impresión 3D puede introducir variaciones debido a las propiedades anisotrópicas y al porcentaje de relleno utilizado en las piezas.

Presión:1

Tipo de carga	Presión
Magnitud	0.000 MPa

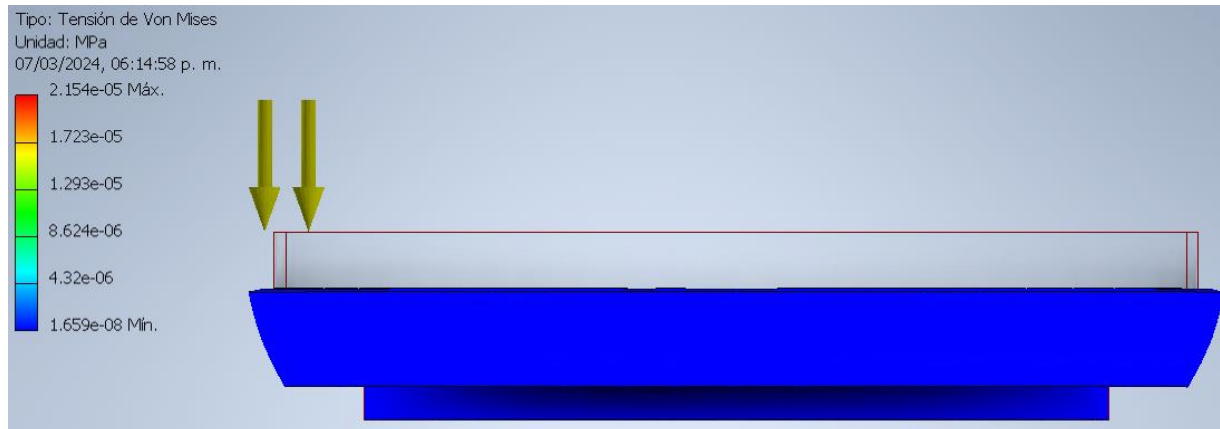


Ilustración 64 "Estudio de empaque. Von Mises" (Elaboración propia)

En la Ilustración 65. "Estudio de empaque. Desplazamiento en Z", se muestra la deformación en el eje z, que es de particular interés ya que está sometida a la presión ejercida por la tapa unificada de los frascos. Los resultados muestran un comportamiento deseado en esta deformación confirma la eficacia del diseño para resistir las cargas previstas.

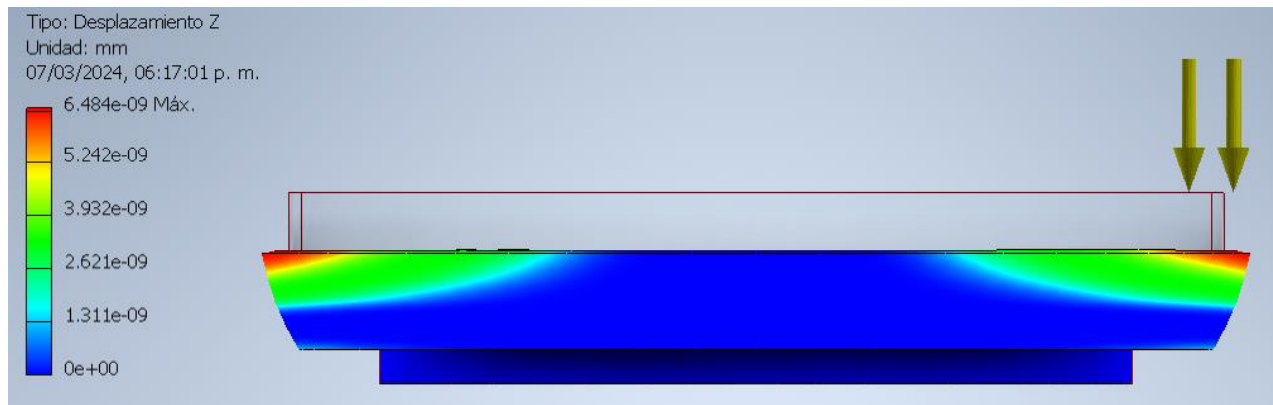


Ilustración 65. "Estudio de empaque. Desplazamiento en Z". (Elaboración propia)

Finalmente, en la Ilustración 66. "Estudio de empaque. Coeficiente de seguridad", se evidencia un amplio coeficiente de seguridad, lo cual es reconfortante al considerar la naturaleza de la fabricación por impresión 3D. Estos resultados validan la confiabilidad del diseño y sugieren que la pieza tiene buenas perspectivas de cumplir con los requisitos del proyecto.

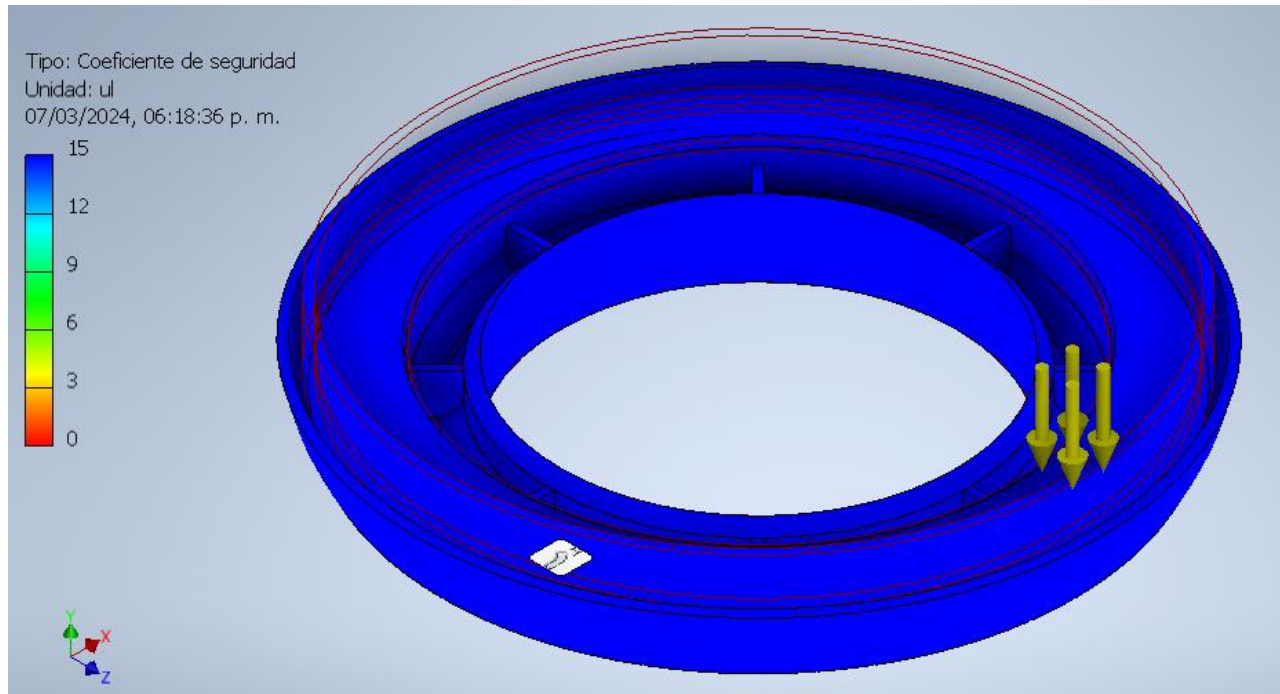


Ilustración 66. "Estudio de empaque. Coeficiente de seguridad" (Elaboración propia)

Porta frascos.

Otra pieza de gran importancia en nuestro proyecto es la de los porta frascos. Para garantizar la accesibilidad al quitar y poner los frascos dentro del sistema, se desarrolló un diseño utilizando herramientas de diseño generativo a través del CAE. Mediante una serie de estudios, pudimos determinar la configuración óptima para que esta pieza funcionara de manera eficiente. La pieza está diseñada para operar en la región plástica del material, en este caso, el PET. Su funcionamiento implica abrirse ligeramente en las pestañas para recibir un frasco, y al cerrarse, asegura firmemente el frasco en su lugar con un pequeño clic.

El diseño generativo permitió explorar diferentes configuraciones y optimizar gradualmente el diseño para reducir la tensión de Von Mises y mejorar la eficiencia del material en cada porta frascos. La evolución del diseño se puede apreciar en la Ilustración 67. "Porta frasco, Diseño generativo", donde se realizaron ajustes progresivos para alcanzar la configuración final.



DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN CLASIFICADOR DE INSECTOS AUTÓNOMO PARA EL MONITOREO DE PLAGAS EN LA CITRICULTURA.

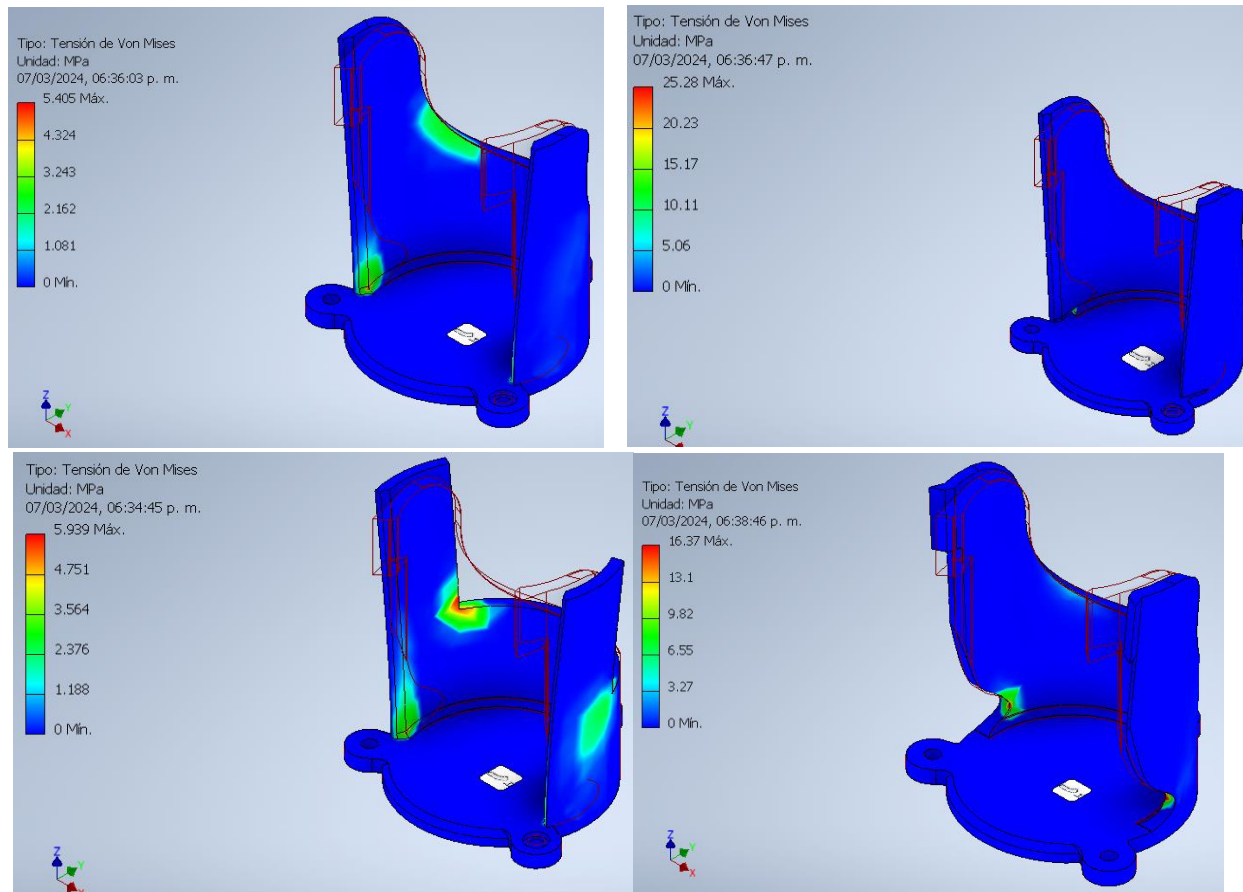


Ilustración 67. "Porta frasco, Diseño generativo". (Elaboración propia)

En la Ilustración 68 "Porta frasco, Von Mises", se observa que la tensión de Von Mises se ha minimizado en comparación con las iteraciones anteriores y la deformación se va ajustando más a lo deseado.

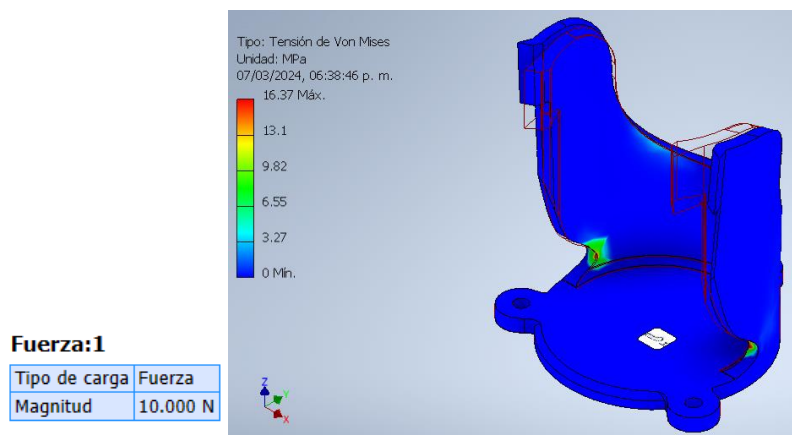


Ilustración 68 "Porta frasco, Von Mises" (Elaboración propia)

La Ilustración 69. "Porta frasco, Desplazamiento" muestra un desplazamiento horizontal que es fundamental para el correcto funcionamiento de la pieza al recibir y sostener los frascos.

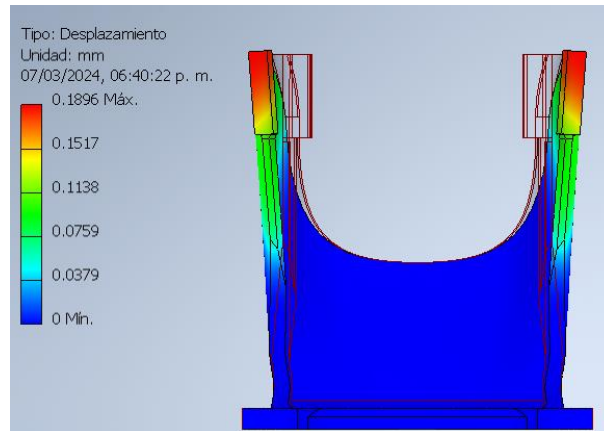


Ilustración 69. "Porta frasco, Desplazamiento". (Elaboración propia)

El coeficiente de seguridad en la Ilustración 70. "Porta frasco, Coeficiente de seguridad" indica algunos puntos críticos que podrían presentar problemas, sin embargo, se considera adecuado para continuar con la fabricación, tomando en cuenta la impresión por manufactura aditiva, que, como se ha destacado previamente, puede diferir en ciertos aspectos de los estudios realizados.

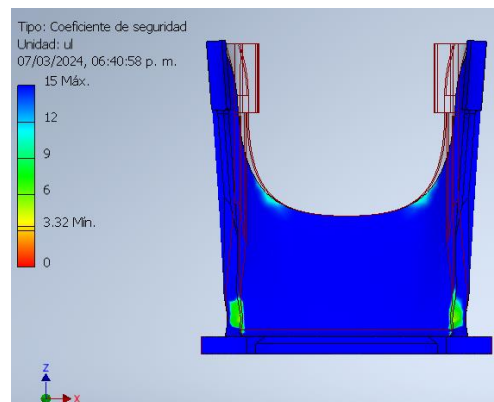


Ilustración 70. "Porta frasco, Coeficiente de seguridad". (Elaboración propia)

Piñón cruz de malta

El análisis del piñón de la cruz de Malta surgió debido a preocupaciones sobre si el material poseía las propiedades adecuadas para soportar las fuerzas necesarias para girar los frascos, considerando tanto el peso inercial de estos como la fricción entre los componentes del sistema, especialmente enfocándonos en los empaques deslizables para sellar los frascos. Por ello, se optó por realizar un estudio para evaluar cómo el piñón respondería al aplicársele un momento angular

mientras una parte de él permanecía fija, simulando así el cambio de un estado estático a uno dinámico, teniendo en cuenta el momento máximo que podría ejercer el par del motor seleccionado. Este enfoque permitió analizar cómo el piñón se comportaría bajo condiciones operativas reales, asegurando que pudiera soportar las cargas esperadas durante su funcionamiento en el sistema.

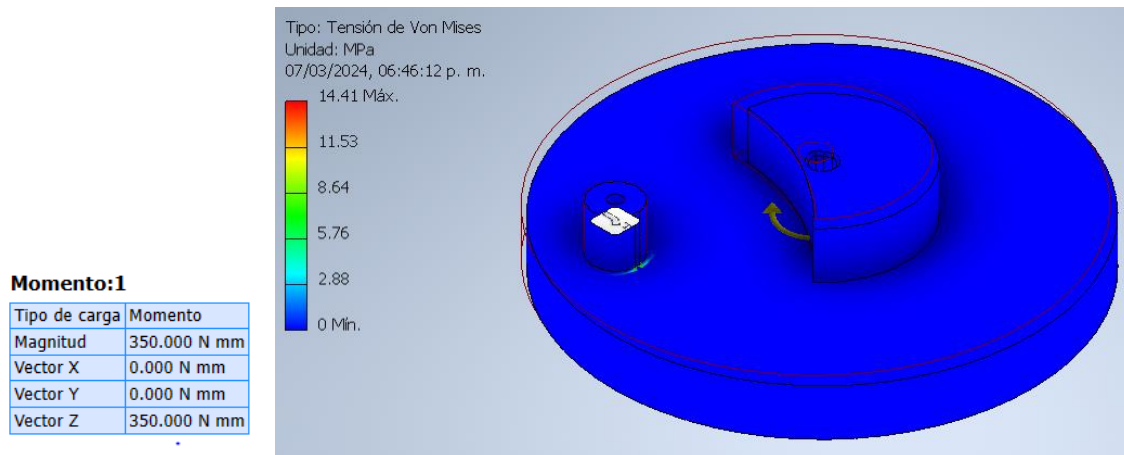


Ilustración 71. "Piñón, Von Mises". (Elaboración propia)

Los resultados obtenidos del estudio muestran que, en primer lugar, la tensión de Von Mises se mantiene dentro de los límites seguros del material, lo que indica una adecuada resistencia del piñón frente a las cargas esperadas. Aunque se observa un desplazamiento en la siguiente imagen, este será considerado dentro de los límites permitidos, ajustando las tolerancias en las partes correspondientes según sea necesario.

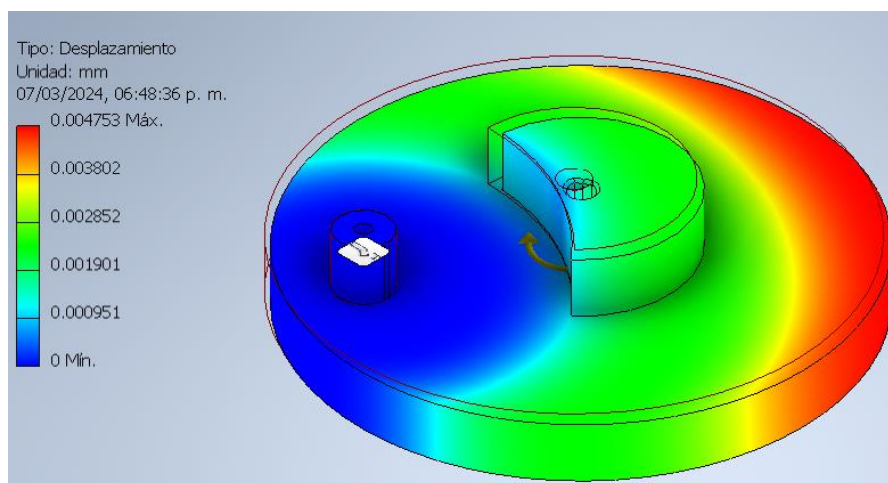


Ilustración 72. "Piñón, Desplazamiento". (Elaboración propia)



Finalmente, la evaluación del coeficiente de seguridad en la última imagen indica que, si bien existe un punto de vulnerabilidad, se considera aceptable para continuar con la manufactura por impresión 3D. Esto implica que, a pesar de ciertas limitaciones, el piñón es capaz de cumplir con su función dentro del sistema diseñado, proporcionando una confianza razonable en su desempeño.

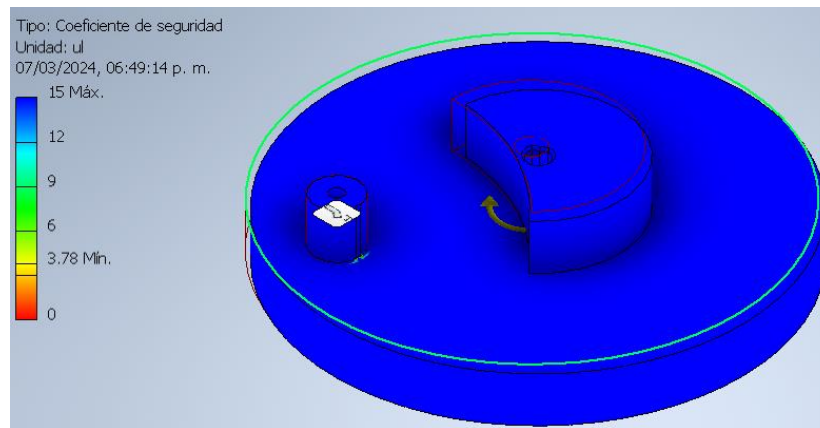


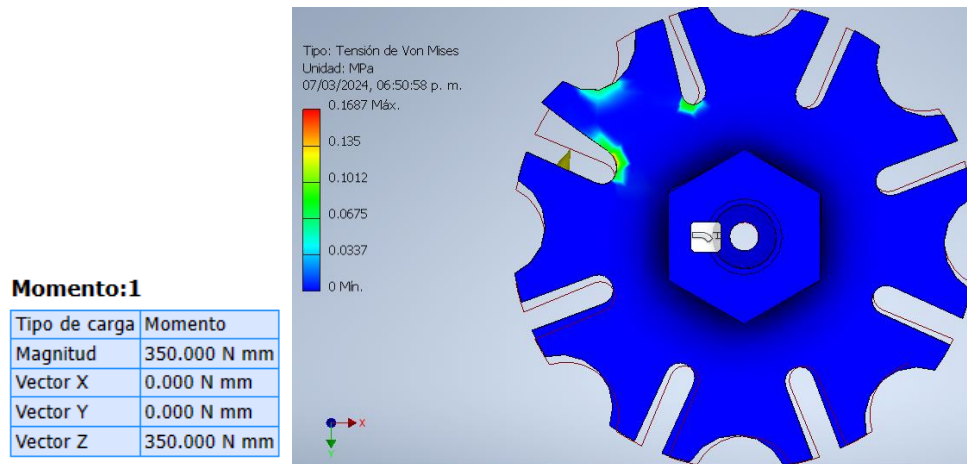
Ilustración 73. "Piñón, coeficiente de seguridad". (Elaboración propia)

Cruz de malta.

Siguiendo con la siguiente parte, la cruz de Malta, nos enfrentamos a las mismas incertidumbres que con la pieza anterior, sobre si el material elegido es el adecuado para garantizar su correcto funcionamiento. Por lo tanto, decidimos realizar estudios similares, pero con parámetros específicos para esta pieza. Es importante destacar que estas piezas, al tener un mayor volumen, pueden verse más afectadas por la cantidad de relleno durante la impresión 3D, lo que requiere un análisis cuidadoso y una evaluación precisa de los resultados.

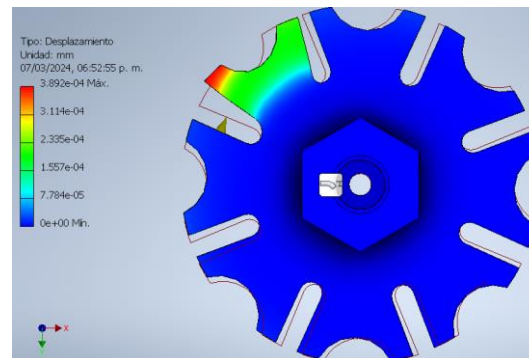


DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN CLASIFICADOR DE INSECTOS AUTÓNOMO PARA EL MONITOREO DE PLAGAS EN LA CITRICULTURA.



Ilustración 74. "Cruz de Malta, Von Mises". (Elaboración propia)

En la Ilustración 74. "Cruz de Malta, Von Mises" observamos las tensiones de Von Mises, las cuales, al compararlas con los límites permitidos del material, se mantienen dentro de un rango seguro, lo que sugiere que el modelo es adecuado. En la siguiente imagen, notamos un desplazamiento significativo, pero es crucial señalar que este estudio considera condiciones extremas para la pieza. Sin embargo, al permanecer dentro de la zona plástica del material y sin experimentar rupturas, podemos concluir que el modelo es viable para la impresión en 3D.



Ilustración 75. "Cruz de malta, Desplazamiento". (Elaboración propia)

Finalmente, en la última imagen, evaluamos el coeficiente de seguridad, el cual muestra una uniformidad satisfactoria. Esta consistencia nos da confianza para proceder con el uso del modelo, ya que demuestra que el material puede cumplir con los requisitos de la aplicación prevista.

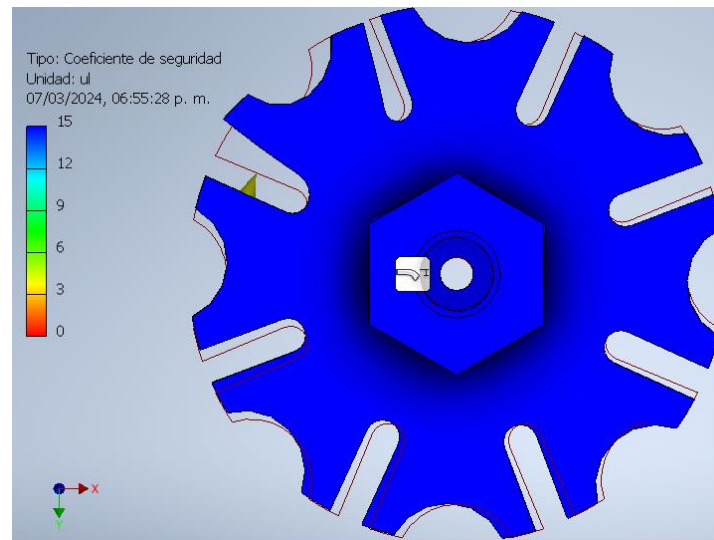


Ilustración 76. "Cruz de malta, Coeficiente de seguridad". (Elaboración propia)

Flecha de válvula.

Pasando a otra sección del sistema, nos encontramos con una parte crítica que experimenta esfuerzos mecánicos significativos: las servo válvulas. Estas válvulas están compuestas por un servomotor que acciona un sistema de biela, el cual, al estar fabricado mediante impresión 3D, requiere un análisis exhaustivo para garantizar su integridad y funcionalidad. Dos componentes en particular generaron cierta preocupación: la flecha de la válvula y el piñón de la biela.

Centrándonos en la flecha de la válvula, esta se ve principalmente sometida a fuerzas de compresión, ya que su función es cerrar una de las válvulas para garantizar el sellado del empaque superior. A través de los estudios realizados, se puede observar en la Ilustración 77. "Flecha, tensión Von Mises" que las tensiones de Von Mises permanecen dentro de los límites de resistencia del material, lo que indica que no se espera que la pieza sufra daños o rupturas bajo las cargas esperadas.



DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN CLASIFICADOR DE INSECTOS AUTÓNOMO PARA EL MONITOREO DE PLAGAS EN LA CITRICULTURA.

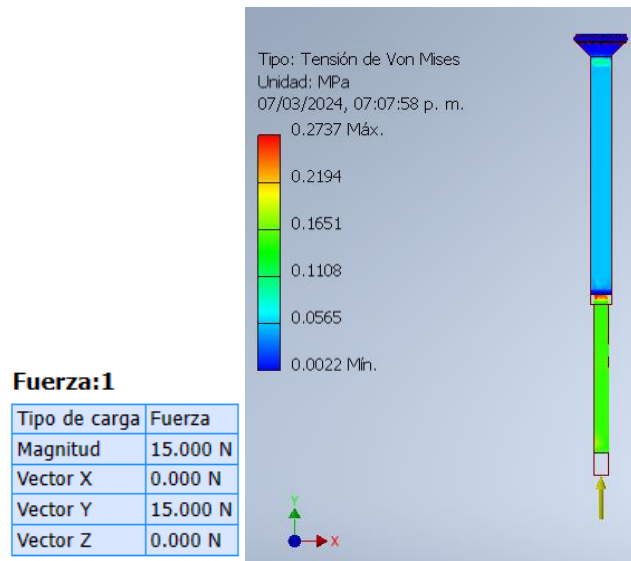


Ilustración 77. "Flecha, tensión Von Mises". (Elaboración propia)

Al analizar el coeficiente de seguridad en la siguiente imagen, notamos que proporciona un margen amplio, lo que sugiere que la pieza tiene una buena capacidad para soportar las cargas previstas sin comprometer su integridad estructural. Es por lo que concluimos que los resultados de los estudios respaldan la viabilidad y funcionalidad de la flecha de la válvula en el sistema.

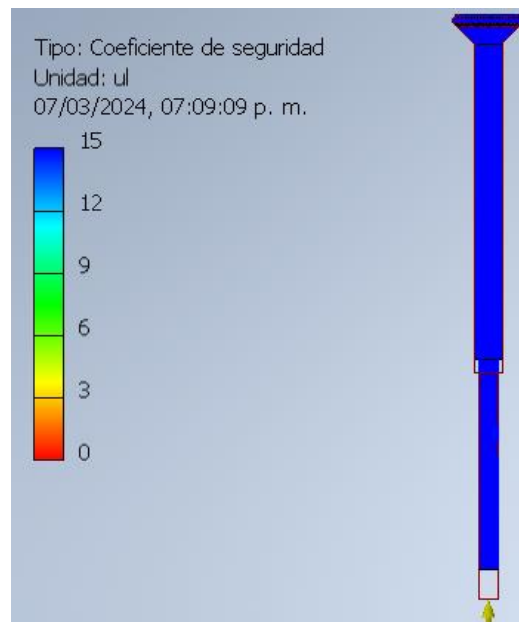


Ilustración 78. "Flecha, coeficiente de seguridad". (Elaboración propia)

Piñón de biela de válvula

Avanzando hacia la evaluación del piñón de la biela de la válvula, se plantea la necesidad de realizar un estudio exhaustivo para determinar si el torque suministrado por el servomotor no comprometerá la integridad de la pieza. Para ello, se establecen condiciones extremas, incluyendo el máximo torque del servomotor y una restricción estática, con el objetivo de comprender el comportamiento del componente en diferentes escenarios de carga.

Momento:1

Tipo de carga	Momento
Magnitud	150.000 N mm
Vector X	0.000 N mm
Vector Y	0.000 N mm
Vector Z	-150.000 N mm

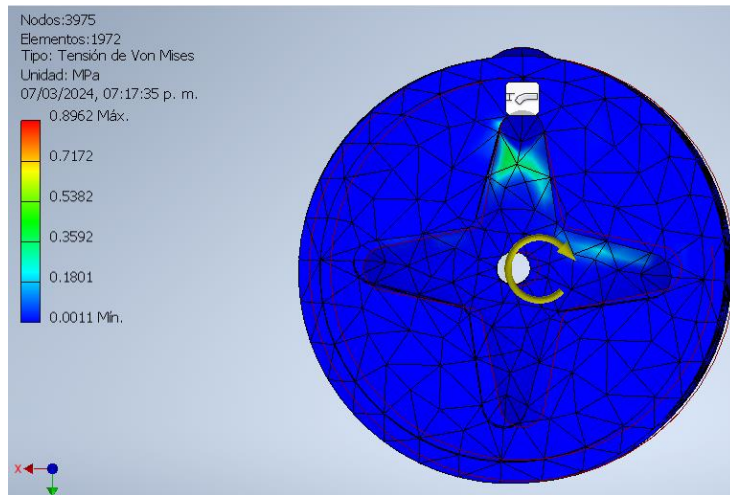


Ilustración 79. "Biela, "Von Mises". (Elaboración propia)

En la Ilustración 79. "Biela, "Von Mises", se observa que las tensiones de Von Mises se mantienen dentro de los límites establecidos para el material, lo que sugiere que este se comportará adecuadamente en la aplicación prevista. En cuanto al desplazamiento, se registra una variación mínima en la siguiente imagen, la cual se encuentra dentro de un rango aceptable para el funcionamiento efectivo de la pieza.

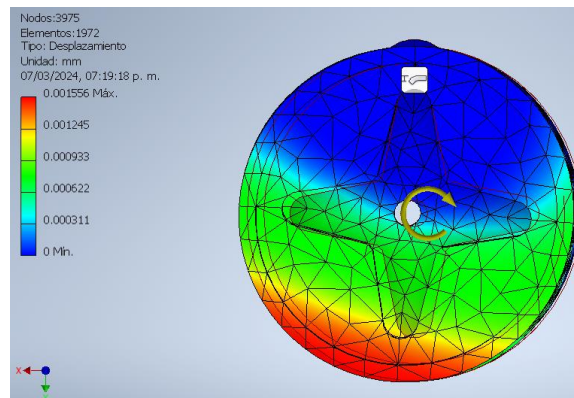


Ilustración 80. "Biela, Desplazamiento". (Elaboración propia)



Finalmente, al analizar el coeficiente de seguridad en la última imagen, se observa una uniformidad satisfactoria, lo que indica que la pieza cuenta con un margen adecuado de resistencia frente a las cargas aplicadas. En conclusión, los resultados obtenidos respaldan la viabilidad y funcionalidad del piñón de la biela de la válvula en el sistema.

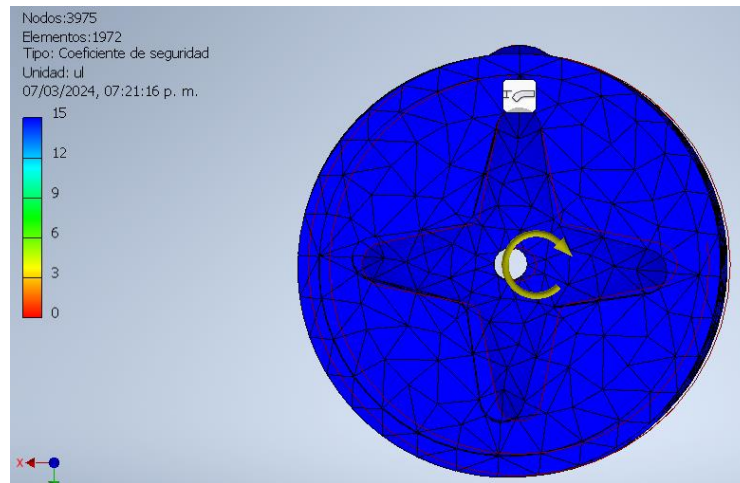


Ilustración 81. "Biela, Coeficiente de seguridad". (Elaboración propia)

Los estudios de CAE desempeñaron un papel crucial en la validación y optimización del diseño de las diversas piezas que componen nuestro sistema. A través de estos estudios, pudimos evaluar cómo cada componente respondería a las cargas y fuerzas a las que estaría expuesto durante su funcionamiento, garantizando así su integridad estructural y su capacidad para cumplir con los requisitos de rendimiento.

Uno de los aspectos más destacados de estos estudios fue la confirmación de la viabilidad del proceso de fabricación mediante impresión 3D. Esta tecnología ofrece una flexibilidad única para la producción de piezas complejas, pero también introduce ciertas consideraciones que deben tenerse en cuenta al interpretar los resultados de los análisis CAE. Es importante recordar que los estudios se realizaron en modelos digitales y que los resultados deben considerarse como una referencia aproximada, especialmente debido a las propiedades anisotrópicas y otras características específicas del proceso de impresión 3D.

Los análisis CAE nos permitieron identificar áreas de mejora en el diseño de las piezas, lo que nos permitió realizar ajustes para optimizar su rendimiento y eficiencia. Además, los coeficientes de seguridad obtenidos en los estudios confirmaron que las piezas cumplen con los estándares de seguridad requeridos, lo que brinda tranquilidad sobre su fiabilidad en condiciones de funcionamiento reales.



Capítulo 3. Fabricación e instalación.

Fabricación

En las imágenes presentadas (Ilustración 82), se puede apreciar que gran parte de los componentes de nuestro dispositivo fueron fabricados mediante impresión 3D. Esto se debió a la necesidad de contar con piezas especializadas que cumplieran con funciones específicas dentro del sistema. A pesar de esta preferencia por la impresión 3D, se procuró trabajar con medidas estándar y materiales capaces de resistir tanto las cargas químicas de la solución donde caían los insectos como los esfuerzos mecánicos requeridos.



Ilustración 82. Prototipo fabricado. (Elaboración propia)

Además de la impresión 3D, también se recurrió a procesos de fabricación convencionales, como el torneado, para la creación de flechas y otras piezas que demandaban este tipo de proceso. Sin embargo, su uso fue mínimo en comparación con la impresión 3D, ya que esta tecnología ofrecía una mayor versatilidad y eficiencia para las necesidades del proyecto.

En cuanto a las piezas de acero inoxidable utilizadas, como la caja que albergaba el revólver y la estructura que sostenía el sistema, estas fueron mandadas a fabricar bajo nuestras especificaciones, asegurando así su adecuación y durabilidad para el propósito del proyecto.

Por otro lado, el corte láser se empleó para obtener cortes precisos en partes de acrílico, como la tapa unificada de frascos y la tapa deslizable, entre otras. Este proceso garantizó la precisión necesaria en la fabricación de estas piezas.

Es importante resaltar que, en todo el proyecto, se buscó maximizar el aprovechamiento de los recursos disponibles y trabajar de manera eficiente y efectiva con las herramientas y



materiales a nuestra disposición. Esto con la finalidad de orientar nuestro diseño a la optimización de los procesos de fabricación en función de los objetivos y restricciones del proyecto.

A continuación, se presenta una lista de los actuadores y sensores utilizados en el proyecto:

Actuadores

Actuadores				
No.	función	Actuador	Consumo [A]	Voltaje [V]
1	Válvula de recepción de insectos	Servomotor	1	5
2	Válvula de contención de insectos	Servomotor	1	5
3	Cambio de posición frascos de retención de muestras	Motorreductor Jga25-370 6V 12RPM	1	12
5	Esprea 1 Contenedor receptor	Válvula Solenoide	0.8	12
6	Esprea 2 Contenedor estabilizador	Válvula Solenoide	0.8	12
7	Presurizador	Bomba de agua (relé)	1	12

Tabla 5. Tabla de actuadores.

Sensores

Sensores			
No.	función	Sensor	Voltaje[V]
1	Nivel de agua	Sensor de nivel de agua	3.3
2	Posicionamiento de frascos	Sensor de óptico	3.3
3	Frasco inicial	Sensor de óptico	3.3
4	Clasificación de insectos	Cámara	5

Tabla 6. Tabla de sensores.



Diagrama de conexión de potencia

A continuación, se muestra el diagrama de conexión de potencia empleado en nuestro dispositivo.

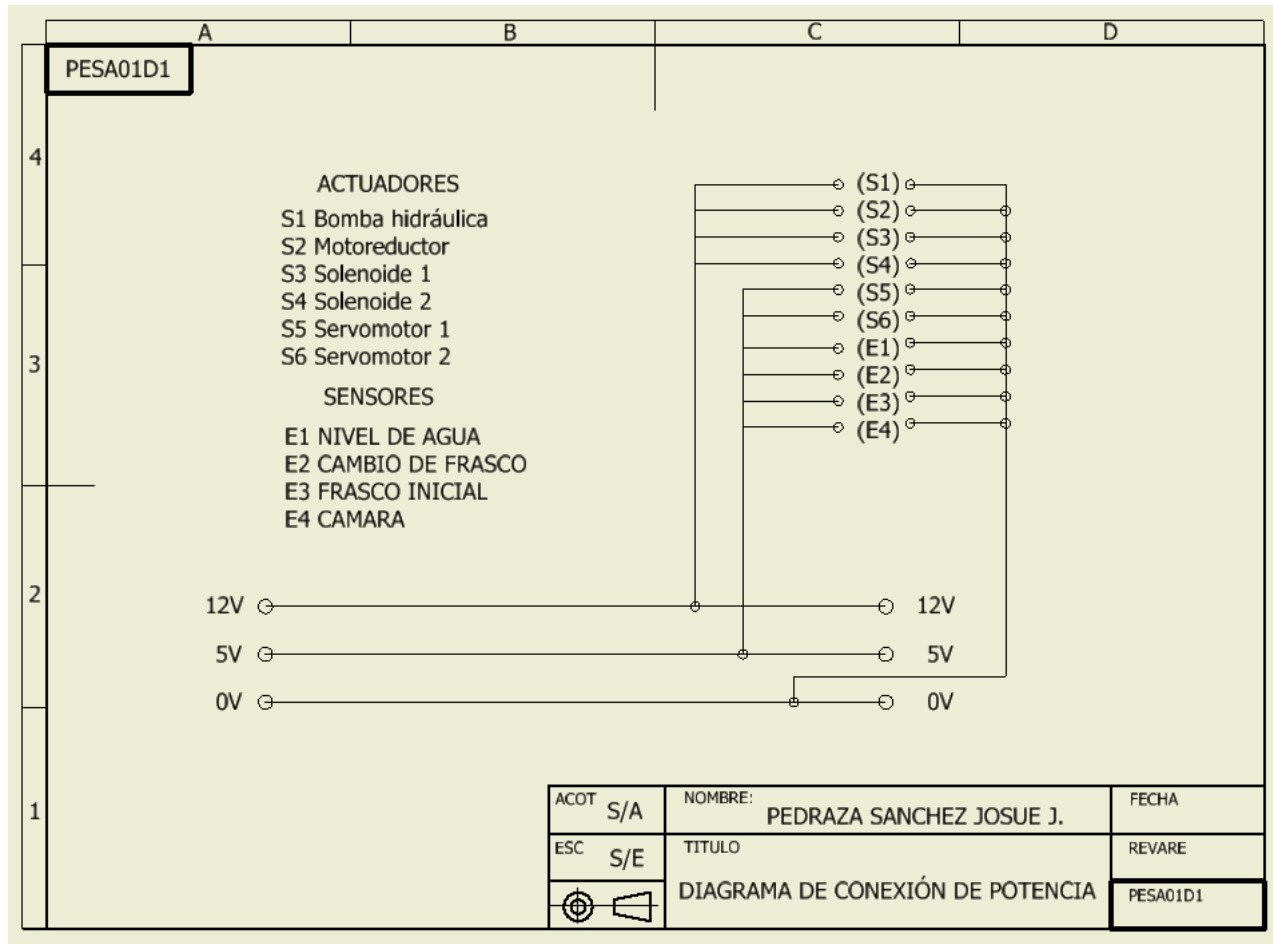


Ilustración 83. Diagrama de conexión de potencia. (Elaboración propia)



Diagrama de conexión hidráulica

A continuación, se presenta un diagrama de conexión hidráulica y su conexión física para la aspersión de la solución de alcohol con la finalidad de limpiar y llenar los frascos cuando alguno de ellos se actúe y no dejen ninguna muestra atrapada.

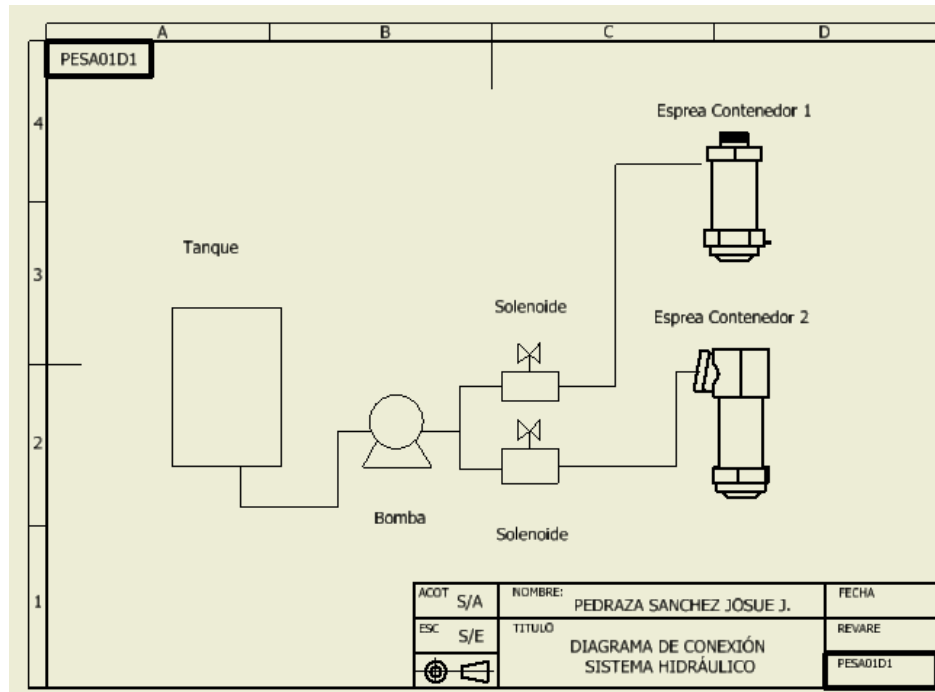


Ilustración 85 Diagrama de conexión de sistema hidráulico. (Elaboración propia)

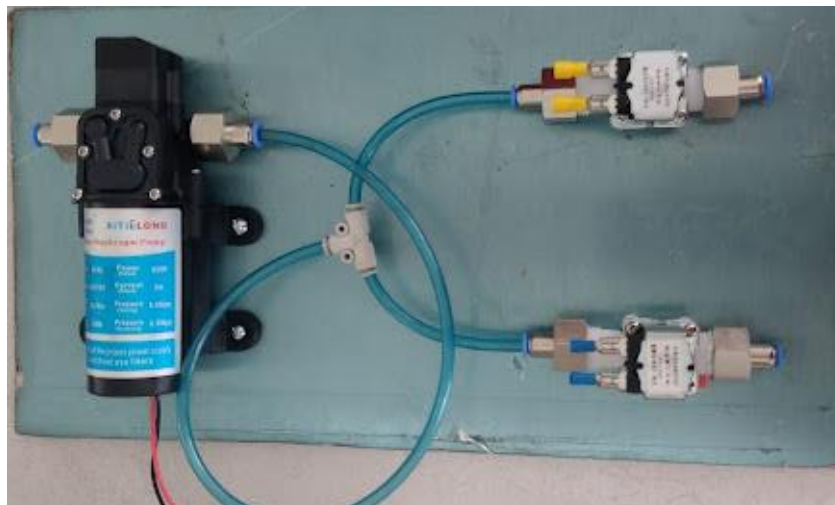


Ilustración 84 Conexión de bomba y válvulas solenoide. (Elaboración propia)



Capítulo 4. Resultados preliminares de primera entrega.

Eventos y Experiencia.

En la fase de instalación del sistema, se enfrentó a varios desafíos que pusieron a prueba la capacidad de adaptación y resolución de problemas. Uno de los principales contratiempos fue la discrepancia entre las medidas planificadas y las dimensiones reales de la trampa, lo que afectó significativamente nuestra capacidad para integrar el dispositivo de manera completa. Ante esta situación, se tomó la decisión de dividir el proyecto en dos secciones: reconocimiento de insectos y recolección de insectos, para permitir una implementación más manejable y garantizar el funcionamiento parcial del sistema.



Ilustración 86. Sistema de monitoreo de insectos en sus diferentes pruebas. (Elaboración propia)

Durante los primeros días de instalación, se enfocó en la sección de reconocimiento de insectos para evaluar la viabilidad de nuestra solución propuesta. Sin embargo, se enfrentó a numerosos obstáculos, incluidas las dificultades con las perspectivas en las imágenes, que distorsionaron nuestra percepción del espacio disponible, y los errores en las medidas planificadas.



Estos desafíos se vieron agravados por las condiciones ambientales adversas, como la lluvia, que por un lado nos ayudó a probar la resistencia y efectividad de nuestro diseño.

Se implementaron diversas soluciones para superar los obstáculos encontrados, como el uso de una manguera flexible en lugar de una tubería rígida para guiar a los insectos al primer frasco debido a que en la tubería rígida muchas de las muestras obtenidas en la trampa se quedaban atoradas y no llegaban al frasco correspondiente, y la incorporación de sistemas de drenaje para evitar la acumulación de agua durante las lluvias. A pesar de los contratiempos, logramos instalar con éxito la parte mecánica del sistema y comenzamos a trabajar en la integración de los componentes electrónicos y de control.



Ilustración 87. Gabinete de control de todo el sistema. (Elaboración propia)

Sin embargo, surgieron nuevos desafíos durante la instalación de la electrónica, incluidos problemas con las conexiones soldadas debido a las condiciones adversas del ambiente. Además, se experimentó fallas en algunos sensores y en el joystick de control, atribuidas a la alta humedad. Estos contratiempos requirieron un esfuerzo adicional y tiempo prolongado para resolver, pero finalmente logramos realizar pruebas exitosas del sistema hidráulico y verificar su funcionamiento adecuado.



DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN CLASIFICADOR DE INSECTOS AUTÓNOMO PARA EL MONITOREO DE PLAGAS EN LA CITRICULTURA.



Ilustración 88. Contratiempos en instalación. (Elaboración propia)

A pesar de los errores y fallas encontrados durante la instalación, estas experiencias fueron invaluablemente informativas para validar nuestra solución propuesta y realizar ajustes necesarios para futuras iteraciones del proyecto. La realización de pruebas manuales con los insectos recolectados de la trampa proporcionó información crucial sobre el rendimiento del sistema y nos permitió identificar áreas de mejora.



Ilustración 89. Instalación de Sistema de recolección de insectos. (Elaboración propia)

Después de enfrentar desafíos durante la instalación del sistema de reconocimiento de insectos, se enfrentamos a nuevos contratiempos al intentar instalar el sistema de recolección de insectos. Aunque la estructura de soporte diseñada para sostener el sistema era ingeniosa y permitía ajustes necesarios para la instalación, nos vimos obligados a postergar la instalación debido a varios factores.

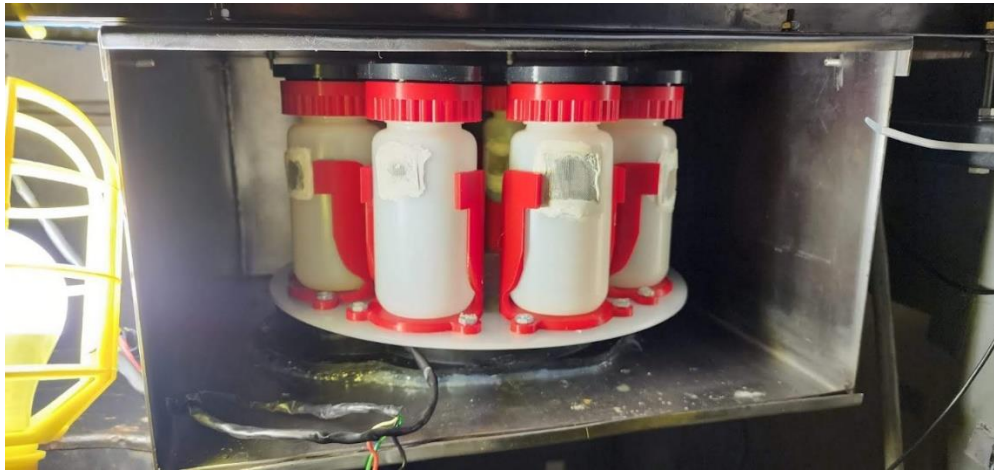


Ilustración 90. Detalles del sistema de recolección de insectos. (Elaboración propia)

Uno de los principales problemas fue la prolongación del tiempo necesario para resolver problemas técnicos, como fallas en los sensores y en el control del sistema, lo que dificultaba aún más la instalación. A pesar de que la parte mecánica del sistema parecía funcionar correctamente, los problemas con los componentes electrónicos y de control hicieron imposible completar la instalación dentro del tiempo previsto.

Dadas estas circunstancias, tuvimos que tomar la difícil decisión de posponer la instalación del sistema de recolección de insectos. Aunque fue una decepción no poder implementar esta parte del experimento como se había planeado inicialmente, reconocimos la importancia de priorizar la funcionalidad y la integridad del sistema sobre cumplir con los plazos establecidos.

En última instancia, aunque no pudimos completar la instalación del sistema de recolección de insectos en esta etapa, aprendimos lecciones valiosas sobre la planificación y ejecución de proyectos complejos en entornos desafiantes. Estas experiencias nos brindaron información invaluable para futuras iteraciones del proyecto y resaltaron la importancia de la adaptabilidad y la resiliencia en el proceso de investigación y desarrollo.



Resultados

A través de este proyecto, he tenido la oportunidad de diseñar y construir un clasificador de insectos autónomo funcional. Durante el proceso, seguimos una metodología de diseño que, aunque pudo haberse enfocado más en ciertos aspectos, se convierte en una valiosa experiencia para proyectos futuros. La implementación exitosa de este dispositivo fue posible gracias a la estructuración y planificación que se llevó a cabo a lo largo del proyecto, así como a la utilización de herramientas como CAD, CAM y CAE, y los cálculos precisos que realizamos, los cuales fueron fundamentales para alcanzar los resultados finales.

Es importante destacar que el diseño de los sistemas busco cumplir con las necesidades establecidas desde el inicio del proyecto. Aunque no se logró una clasificación de insectos completamente automática como se había previsto inicialmente, considero que nos aproximamos de manera significativa a la resolución de este desafío. El principio de operación del sistema se mantuvo lo más simple posible para evitar complicaciones futuras, y se diseñó pensando en la sostenibilidad, utilizando materiales amigables con el medio ambiente y con un potencial significativo en términos de sustentabilidad en las tierras de cultivo.

De igual manera, las circunstancias nos imposibilitó realizar la entrega de un dispositivo completamente funcional, sin embargo, esta experiencia nos proporcionó valiosas lecciones y diferentes perspectivas. Se tomaron decisiones acertadas y otras no tanto durante la implementación del dispositivo. Por ejemplo, el material de impresión PETG resultó ser excelente, mientras que la elección de acrílico fue menos favorable. El sistema de recolección de insectos se considera uno de los aspectos más sólidos en términos de diseño mecánico, pero lamentablemente no pudimos completar su instalación debido a limitaciones de tiempo.

En resumen, este proyecto nos permitió validar conceptos y un diseño funcional que cumplió con una parte significativa de las especificaciones. Además, nos brindó una comprensión más profunda de las consideraciones que deben tenerse en cuenta en futuras implementaciones. En todo momento, trabajamos con innovaciones tecnológicas, desde procesos de fabricación como la impresión 3D, hasta el uso de inteligencia artificial en el reconocimiento de insectos.



Observaciones

En retrospectiva, identifiqué algunas áreas en las que hubo errores y oportunidades de mejora durante el desarrollo del proyecto. Una de ellas fue la implementación de prototipos, donde se pudo realizar más versiones para asegurar el correcto funcionamiento del sistema. Era necesario anticipar la necesidad de iterar más en la creación de prototipos para validar el diseño.

En cuanto a la selección de materiales impermeables, se enfrentó a dificultades en sellos hidráulicos y las propiedades de cada material utilizado, es necesario seguir explorando otras opciones de diseño o buscar asesoramiento de expertos en el campo sin embargo los tiempos juegan un factor determinante, se puede enriquecer de mayor manera el equipo de trabajo para obtener diferentes puntos de vista.

Además, dedicar tiempo a la búsqueda de materiales en cantidades adecuadas y herramientas especializadas resultó ser un desafío. Las limitaciones en el acceso al equipo y maquinaria adecuados dificultaron el proceso y consumieron una cantidad significativa de tiempo que podría haberse utilizado de manera más efectiva en otras áreas del proyecto.

Después de analizar los diferentes cálculos y estudios llevados a cabo durante nuestra investigación, se pudo observar que, en su mayoría, estos funcionaban como una estimación general debido a la presencia de factores aislados que pueden influir en los mecanismos implementados en nuestro proyecto. Entre estos factores se encuentran los ajustes y tolerancias, los acabados superficiales, las posibles desalineaciones de camisas y flechas en el área de maquinado, así como los errores humanos y los defectos de fabricación. Es esencial tener en cuenta estas variables y trabajar en su corrección y minimización para mejorar la precisión y eficiencia del proyecto en futuras etapas.

Finalmente, aunque hubo lecciones aprendidas sobre la importancia de realizar visitas previas al lugar del proyecto, esta experiencia me permitió reconocer la necesidad de una mayor planificación y preparación. Estoy agradecido por los desafíos que enfrenté, ya que cada uno de ellos me brindó la oportunidad de crecer y mejorar como ingeniero



Capítulo 5. Replanteamiento del sistema.

Después de evaluar los resultados obtenidos en el campo experimental del INIFAP con nuestro dispositivo y al identificar áreas de mejora en nuestro diseño, así como adquirir una mejor comprensión de las necesidades centrales del proyecto y las condiciones de trabajo en esa región, nos propusimos replantear las necesidades fundamentales de nuestro sistema. Esta revisión nos permitió transformar nuestras ideas originales y enfocarnos en corregir los errores más significativos, evitando repetirlos y asegurando que cumpliéramos con los objetivos de nuestra tesis.

Consideramos crucial realizar un análisis exhaustivo de lo que funcionó bien en el proyecto anterior y qué aspectos deben modificarse. A continuación, se detallan los replanteamientos necesarios de nuestro proyecto, con el objetivo de optimizar nuestro sistema y aumentar su eficiencia.

Necesidades que debe cumplir el clasificador de insectos:			
No.		Necesidades	Importancia
1	El dispositivo debe	De ser automático	2
2	El dispositivo debe	de ser transportable y fácil de instalar	3
3	El dispositivo debe	cumplir con la clasificación de insectos	1
4	El dispositivo debe	Pequeño y compacto	2
5	El dispositivo debe	con poca interacción humana	4
6	El dispositivo debe	Lo más sencillo posible	1
7	El dispositivo debe	ser ahorrador de material	3
9	El dispositivo debe	Mantener la integridad de las muestras	2
10	El dispositivo debe	Preservar las muestras	3

Tabla 7 Necesidades que debe satisfacer el proyecto (1-Muy importante 5-de poca relevancia).

Al analizar la tabla anterior (Tabla 7), se evidencia cómo la experiencia adquirida durante nuestra estancia en Yucatán nos permitió realizar ajustes importantes en las prioridades de nuestro sistema. Aunque estos ajustes pueden parecer mínimos, su impacto es significativo en el funcionamiento general del proyecto. Con el objetivo de retener las decisiones más acertadas y las cualidades destacadas de nuestro proyecto anterior, y al mismo tiempo abordar las deficiencias identificadas en el prototipo anterior, presentaremos a continuación una tabla que detalla los



aspectos positivos y negativos. Esta tabla nos brindará una visión detallada de las correcciones necesarias para alcanzar con éxito nuestros objetivos finales.

<i>Aspecto</i>	<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
<i>Diseño mecánico</i>	Estructura sólida, resistente y modular.	Problemas de tolerancias y ajustes.
	Sistema pensado para una transición tecnológica.	Sistema demasiado robusto y estorboso
	Funcionamiento estructurado y hermético.	Dificultades en condiciones variables.
<i>Materiales</i>	Uso de materiales duraderos y resistentes en algunos casos.	El acrílico y la propiedad de material de transparencia no son necesarias
	Buena relación costo-efectividad en la fabricación.	Dificultades en la adquisición de materiales específicos.
<i>Fabricación</i>	Proceso de fabricación bien documentado y estructurado.	Retrasos en la producción debido a problemas técnicos.
	Uso de tecnologías modernas como impresión 3D.	La impresión 3D tiene limitantes, hay que meter más procesos de manufactura
<i>Sistema de recolección de insectos</i>	Automatización en la recolección de insectos.	Sistema demasiado grande para el espacio
	Sistema hermético, robusto y eficiente.	Instalación un poco complicada
	Capacidad para recolectar y separar las muestras cada cierto tiempo.	Problemas con los sensores utilizados
<i>Sistema de observación de insectos</i>	Implementación de tecnologías avanzadas para el reconocimiento.	Limitaciones en la detección de insectos
	Pocos grados de libertad	Imágenes borrosas
<i>Sistema de transporte de insectos</i>	Registro y análisis de datos remoto.	Necesidad de mejoras en el reconocimiento de imágenes.
	Sistema estructurado de sencillo control	Problemas de obstrucción o atascamiento en el mecanismo.
	Diseño adaptable para diferentes tipos de insectos.	Vulnerabilidad a la humedad y a las condiciones externas.

Tabla 8 Pros y contras primer entrega



Sistema de muestreo de insectos

El sistema de muestreo de insectos se destacó por su simplicidad y funcionalidad, aspectos cruciales considerando las condiciones ambientales y las observaciones realizadas durante nuestra estancia en Yucatán. La experiencia previa reveló que la exposición a la humedad era un factor crítico que afectaba la electrónica del sistema. Por lo tanto, se optó por un enfoque que minimizara este riesgo, implementando un sistema fijo de la cámara y un flujo adecuado que permitiera el paso controlado de insectos bajo la lente, tal como se había planeado inicialmente.

En este sentido, se decidió mantener la simplicidad del sistema y evitar la introducción de sistemas complejos agregar dificultades y electrónica innecesaria. Esta decisión se fundamentó en la necesidad de garantizar la durabilidad y el funcionamiento efectivo del sistema en condiciones ambientales adversas.

Para iniciar la evaluación de este problema, nos concentramos en la cámara en donde su campo de visualización era limitado, cubriendo un área de 6x6 mm a la distancia óptima para una observación clara y detallada de los insectos que pasaban bajo el lente.



Ilustración 91. Campo de visión del lente 6x6mm. (Elaboración propia)

Dado que el campo de visión de la cámara se asemeja a un cono truncado, decidimos diseñar el canal por donde transitarían los insectos de forma trapezoidal. Con los cálculos realizados por el equipo de trabajo, basándose en el área cónica de observación de la lente, determinamos que el trapecio debía tener un ángulo de 89.5 grados para garantizar el paso adecuado de las muestras de insectos, además de que un canal trapezoidal favorecía un flujo laminar de la solución que contiene a los insectos.

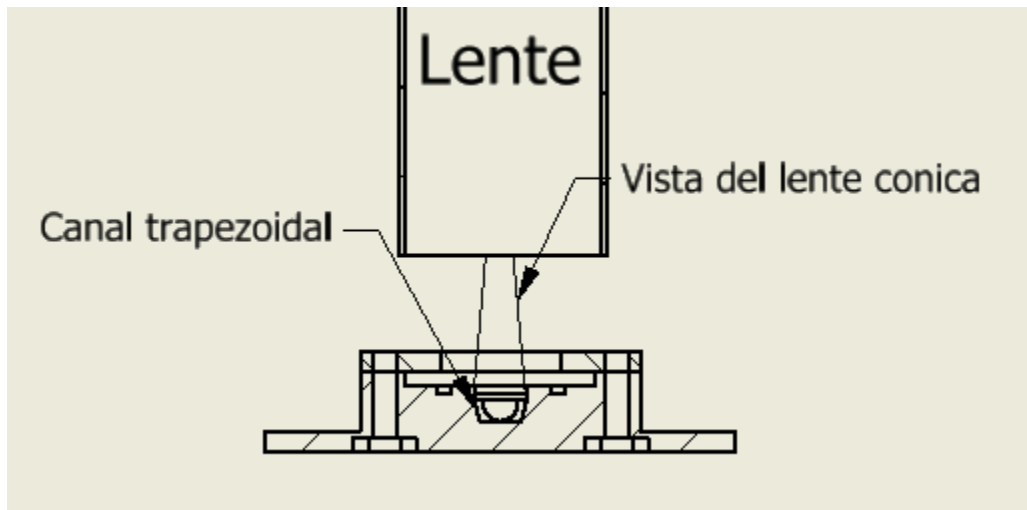


Ilustración 92. Sección transversal del sistema de inspección. (Elaboración propia)

De igual manera, se llevaron a cabo cálculos para determinar la velocidad de flujo más idónea para nuestra cámara, el gasto volumétrico y el número de Reynolds, asegurando así que el flujo de nuestro fluido fuera laminar y controlado.

Velocidad del fluido.

La velocidad del fluido que contiene los insectos dependerá en gran medida de las especificaciones de la toma de imágenes, especialmente de la velocidad de adquisición de estas imágenes.

La adquisición de imágenes está planificada para ser a 30 FPS, lo que significa que se tomará una fotografía cada 33.3 ms. Si consideramos que se capturarán 5 fotografías por insecto (para un buen reconocimiento), la velocidad promedio del fluido debe cumplir con:

$$v = \frac{d}{t} = \frac{6[mm]}{33.3[ms]*5} = 0.036 \left[\frac{m}{s} \right] = 3.6 \left[\frac{cm}{s} \right] \quad \dots(18)$$

Donde:

- v = velocidad promedio del fluido
- d = ancho de campo de visión de cámara
- t = tiempo que debe permanecer la muestra en el campo de visión

Esta velocidad promedio del fluido es crucial para garantizar que las imágenes capturadas sean nítidas y claras, permitiendo así un análisis adecuado de los insectos en movimiento.



Gasto de fluido

El gasto de un fluido se describe como el flujo volumétrico o caudal (G) de fluido que pasa por un conducto en un período de tiempo determinado (t). Para calcular este gasto que pasará por el canal de inspección, primero necesitamos conocer el volumen del prisma trapezoidal mencionado en la Ilustración 92. Sección transversal del sistema de inspección, sin embargo, al contar ya con la velocidad solo es necesario encontrar el área.

Una vez obtenido el área del trapecio, podemos calcular el gasto del fluido considerando la velocidad del flujo y el tiempo área transversal del canal trapezoidal. Esto es esencial para garantizar que la cantidad de fluido que pasa por el canal sea adecuada para capturar la información requerida en cada imagen.

$$G = \frac{V}{t} = vA = 0.036 \left[\frac{m}{s} \right] * A = 0.66 \left[\frac{ml}{s} \right] \quad \dots(19)$$

Donde:

- $G = Gasto$
- $v = Velocidad\ del\ fluido$
- $A = Area\ transversal$

Numero de Reynolds

El número de Reynolds (Re) es una medida adimensional fundamental en mecánica de fluidos y fenómenos de transporte que describe la naturaleza del flujo de un fluido. Cuando el número de Reynolds es inferior a 2300, el flujo se considera laminar, lo que implica un movimiento suave y ordenado de partículas fluidas. Por otro lado, si el número de Reynolds supera los 4000, el flujo se vuelve turbulento, caracterizado por corrientes caóticas y remolinos en el fluido.

Para este experimento, se ha referido a varias fuentes de información en las que revelan que el número de Reynolds debe ser menor a 2300 para garantizar un flujo laminar. Esto es especialmente relevante para obtener imágenes claras durante la adquisición de datos, ya que un flujo laminar proporciona una visualización más nítida y definida de los insectos que pasan a través del canal de inspección. [21]

$$Re = \frac{\rho * v * L}{\mu} \quad \dots(20)$$

Donde:

- $Re = Número\ de\ Reynolds$



DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN CLASIFICADOR DE INSECTOS AUTÓNOMO PARA EL MONITOREO DE PLAGAS EN LA CITRICULTURA.



- $\rho = \text{Densidad}$
- $v = \text{velocidad}$
- $L = \text{longitud}$
- $\mu = \text{viscosidad}$

Con esta información se realizó el cálculo del número de Reynolds para diferentes sustancias que pudieran ser usadas para transportar y conservar las muestras:

Agua:

- $\rho = 1000 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right]$
- $\mu = 0.001001 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{ms}} \right]$

$$Re = 54.7$$

Alcohol:

- $\rho = 810 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right]$
- $\mu = 0.0012 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{ms}} \right]$

$$Re = 37.0$$

Tween 80 (sin diluir):

- $\rho = 0.001085 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right]$
- $\mu = 0.425 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{ms}} \right]$

$$Re = 0.00000014$$

Los resultados arrojan a que existe una laminaridad del fluido en la zona de inspección de insectos con cualquiera de las soluciones, sin embargo, hay que considerar otros aspectos importantes como la tensión superficial de la sustancia y la capacidad para preservar las muestras.



DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN CLASIFICADOR DE INSECTOS AUTÓNOMO PARA EL MONITOREO DE PLAGAS EN LA CITRICULTURA.

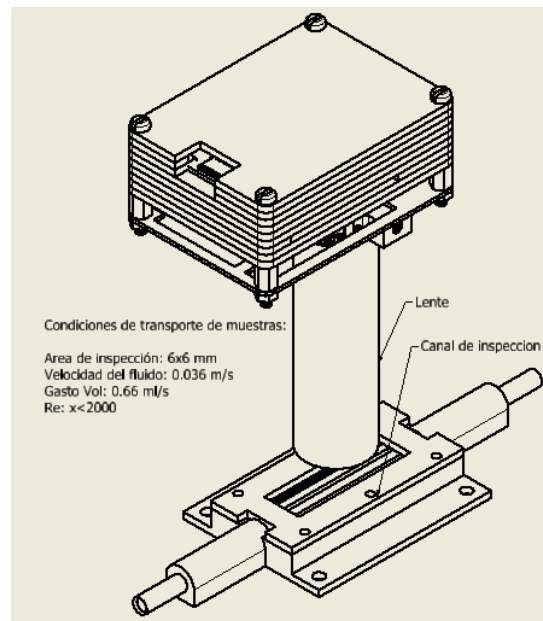


Ilustración 93 Esquema del sistema de muestreo de insectos. (Elaboración propia)

Basándonos en los cálculos de área de inspección, velocidad del fluido, gasto volumétrico y número de Reynolds, logramos diseñar el prototipo de nuestro sistema de muestreo de insectos. Este diseño consistía en un canal de forma trapezoidal con dimensiones específicas determinadas por nuestros cálculos, los cuales se ajustaban a las necesidades de la cámara que se ubicaría debajo del lente para permitir el paso de las muestras.

Realizamos pruebas para evaluar el reconocimiento de insectos a través de la cámara, en donde se observó que estas pruebas requirieron cuidado y precisión, sin embargo, los resultados obtenidos fueron satisfactorios, lo que nos confirmó que estábamos en el camino correcto para continuar con nuestra investigación. Con esta etapa de diseño concluida, nos enfocamos en la estrategia para introducir los insectos en el sistema.



DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN CLASIFICADOR DE INSECTOS AUTÓNOMO PARA EL MONITOREO DE PLAGAS EN LA CITRICULTURA.

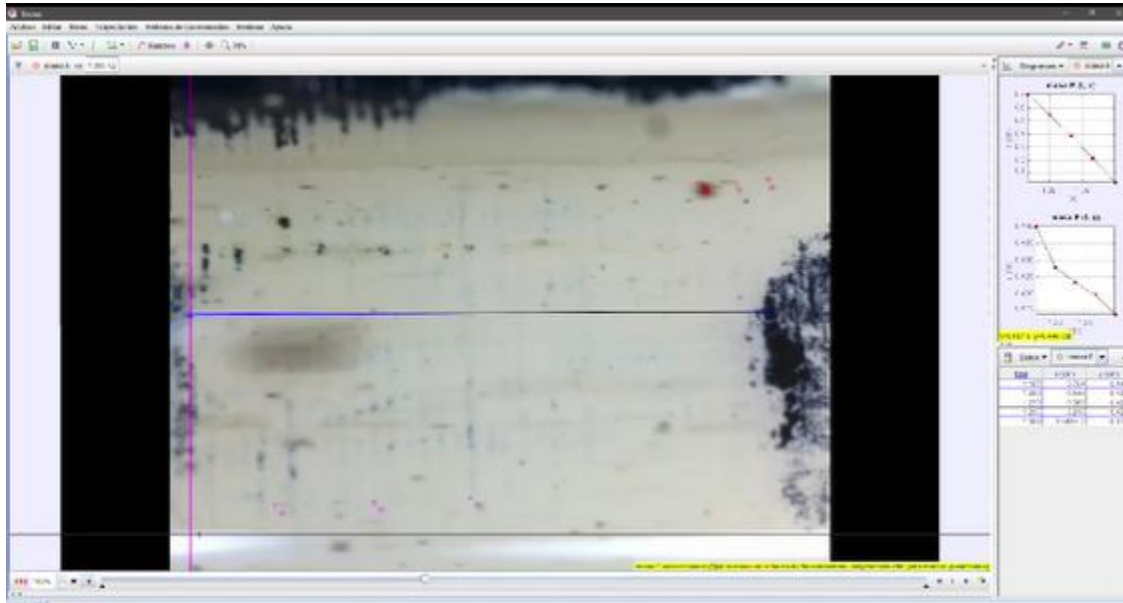


Ilustración 94. Captura de pantalla de sistema de muestreo de insectos. (Elaboración propia)



Sistema de transporte de insectos.

El rediseño del sistema de transporte de insectos se centró en resolver los problemas identificados en nuestro diseño anterior. Decidimos ajustar las tolerancias y evitar posibles fugas aplicando principios físicos que aseguraran un transporte eficiente de los insectos. También se abordó la disparidad en las dimensiones de las especies que caen en la trampa, acotando solo a las que son de nuestro interés debido a que las grandes diferencias de sus tamaños generaban complejidades en nuestro sistema de reconocimiento de insectos y que afectaba de manera directa el tamaño de todo nuestro sistema, por lo que se optó por la incorporación de un filtro al inicio del sistema. Este filtro nos permite concentrarnos únicamente en las especies de interés, garantizando así la efectividad de nuestro sistema.

Para llegar al siguiente diseño, abordamos una de nuestras principales deficiencias, que era la generación de pruebas. En este sentido, buscamos utilizar principios físicos para reducir la dependencia de actuadores, sensores y sistemas complejos, optando por una solución más efectiva, simple y compacta. Este enfoque nos permitió reducir costos, tamaño y aumentar la versatilidad de nuestro sistema para futuros usos.

Durante las pruebas, nos apoyamos en la manufactura aditiva utilizando materiales biodegradables como el PLA, dado que se trataba únicamente de pruebas conceptuales. Algunos de los principios físicos que intentamos implementar incluyeron el sifón hidráulico, el tornillo de Arquímedes, diferencias de presión, inclinaciones de una rampa por donde circulaba un fluido, entre otros.

La tabla que se presentan a continuación muestra ejemplos de estas pruebas, donde buscamos validar la viabilidad y eficacia de nuestros conceptos mediante la aplicación directa de principios físicos en el diseño y funcionamiento de nuestro sistema.



DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN CLASIFICADOR DE INSECTOS AUTÓNOMO PARA EL MONITOREO DE PLAGAS EN LA CITRICULTURA.



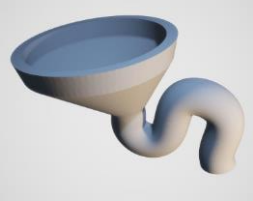
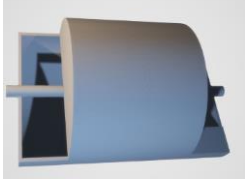
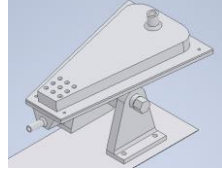
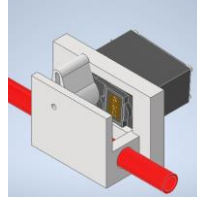
Sifón hidráulico	Tornillo de Arquímedes	Plano inclinado	Válvula de pellizco
			
Ventajas			
Funcionamiento sin energía externa Simplicidad Fiabilidad Versatilidad	Transporte eficiente Bajo mantenimiento Eficiencia energética	Control preciso del flujo Uniformidad en la dosificación	Sellado efectivo Rápida respuesta Compatibilidad con fluidos sensibles
Desventajas			
Manufactura con grado de dificultad. Mantenimiento por obstrucciones	Se requiere un control de alta precisión Mayor espacio requerido Tolerancias	Los insectos se decantan Las variaciones mínimas afectan	Desgaste y durabilidad Limitaciones en flujo Riesgo de fugas

Tabla 9 Prototipado de sistema de transporte de insectos

Durante la discusión surgieron varias ideas de diseño, como la implementación de un sifón hidráulico con la función de reemplazar las válvulas de funcionamiento mecánico, debido a su simplicidad y capacidad para recolectar insectos al aplicar un volumen de agua para activarlo. Asimismo, se propuso el uso de un tornillo de Arquímedes para capturar y transportar los insectos a una zona de inspección girando la tómbola.

Otro enfoque fue el uso de un plano inclinado para dosificar la cantidad de solución con insectos, permitiendo un control preciso del flujo que pasaba a la cámara de observación. Finalmente, se consideró la utilización de una válvula de pellizco para dividir el sistema en varias cámaras y asignar funciones específicas a cada una de ellas, como en la versión anterior del sistema.



Ilustración 95 Prototipo de validación de plano inclinado. (Colaboración con: Valente Vázquez.)

Sin embargo, se realizó una prueba significativa que consistió en implementar un plano inclinado en el sistema. Este diseño permitía que los insectos se deslizaran de manera suave y laminar a lo largo del sistema hasta llegar al área de muestreo de insectos y, finalmente, al área de recolección. Para lograr esto, se desarrolló una estrategia que involucraba un espacio de recepción de insectos controlado por un sifón o una válvula de pellizco, que luego los transfería al plano inclinado.

Se decidió tener dos compartimientos independientes: una para el sifón y otra para el plano inclinado. Esto se hizo para evitar que la turbulencia generada por el sifón afectara la laminaridad del flujo de insectos al pasar por debajo del lente de la cámara. Esta configuración aseguró que el flujo de insectos se mantuviera estable y permitió una mejor captura de imágenes para el análisis posterior. A continuación, se presenta un diagrama que ilustra el funcionamiento detallado de este sistema (Ilustración 96).

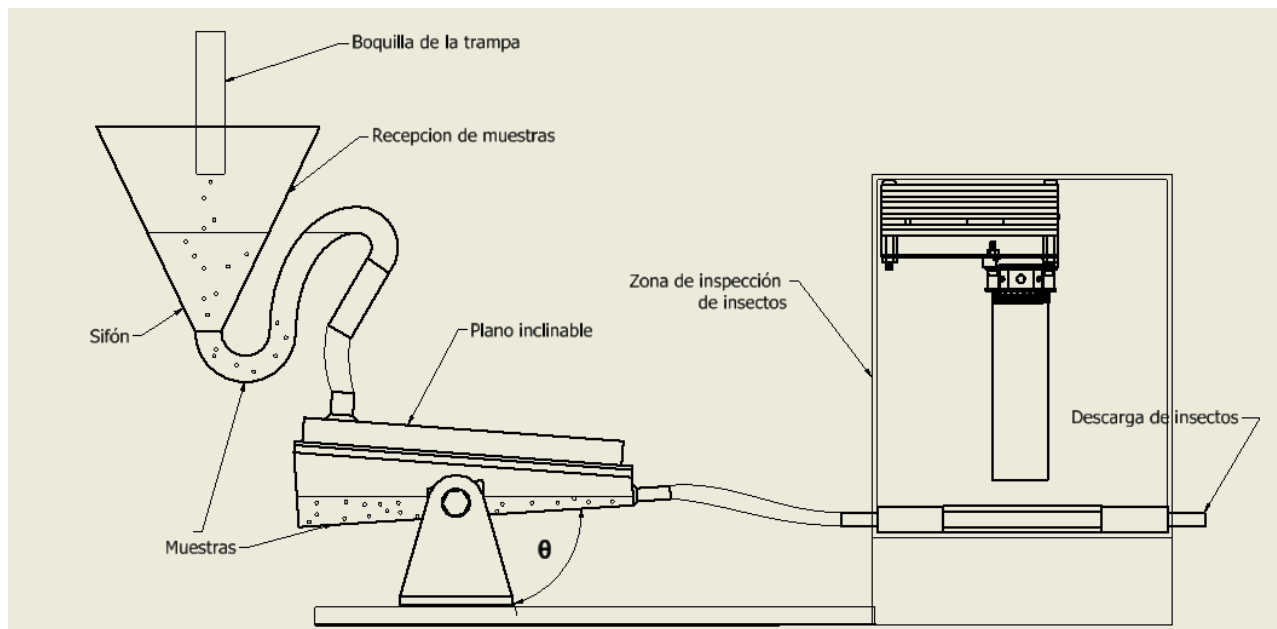


Ilustración 96 Diagrama de prototipo de plano inclinado. (Elaboración propia)

Funcionamiento

- Recepción de muestras
- Activación de efecto sifón
- Inclinación progresiva del plano.
- inspección de las muestras
- Descarga de muestras



- Retorno a condiciones iniciales

Consideraciones:

- El sifón después de su descarga debe llenarse nuevamente a nivel de recepción de insectos.
- El sifón realiza su descarga periódicamente.
- El sifón no puede realizar una descarga hasta que el plano inclinado se encuentre vacío y en su posición inicial.
- Se debe considerar que exista una recirculación del alcohol.
- Se deben considerar muestras menores a 6 mm que es el ancho del canal de inspección.

Este funcionamiento se realizó para validación del prototipo de manera manual, sin embargo, será necesario implementar sensores y actuadores que automaticen este proceso.

Especificaciones de diseño.

De los cálculos obtenidos del No. De Reynolds se obtuvo que el plano inclinado se debe mover a una velocidad angular específica de 0.2°/s o 0.033 RPM. Para lograr esto, se decidió diseñar un sistema de tren de engranajes que, mediante un motorreductor de 10 RPM, pudiera reducir la velocidad angular a la requerida. A continuación, se detallan los cálculos realizados para determinar esta configuración.

Primeramente, se calculó el número de etapas necesarias para la reducción con tren de engranes.

$$\#etapas \geq \frac{\log(e)}{\log(e_{lim})} \quad \dots(21)$$

Donde:

$$e = \text{relacion de transmision deseada} = 300$$

$$e_{lim} = \text{Relacion limite por etapa} = 5 \text{ (usualmente)}$$

Por lo que

$$\#etapas \geq 3.54 \approx 4 \text{ etapas} \quad \dots(22)$$



Para encontrar la relación de cada etapa se optó por ocupar una tabla de divisibilidad de la relación deseada.

Divisibilidad	
División	Relación
2	300
2	150
3	75
5	25
5	5
	1

Tabla 10 Divisibilidad de relación de 300.

Con los resultados expresados por la tabla se propone 4 etapas compuestas por 4x3x5x5

Se procedió a analizar la fabricación del tren de engranajes después de obtener estos resultados, con el objetivo de estandarizar su diseño y evitar posibles defectos de impresión 3D que podrían afectar el rendimiento del tren, se planteó la idea de utilizar engranajes comerciales disponibles en el mercado para garantizar una mayor calidad y funcionamiento óptimo del tren de engranajes. Se realizaron pruebas para evaluar la viabilidad de este tren de engranajes y resultaron positivas, sin embargo, al mismo tiempo se continuó trabajando en la experimentación del plano inclinado. Durante este proceso, se identificó que el plano inclinado poseía severas complicaciones y radicaba en la dificultad de implementar este modelo propuesto. A continuación, se presentarán los resultados experimentales que respaldan esta conclusión.



Resultados experimentales

Los resultados obtenidos del experimento con el prototipo fueron esclarecedores en varios aspectos. En primer lugar, se observó que el ángulo del tubo que aloja la manguera debe tener una ligera inclinación para garantizar un flujo fluido. Tras ajustar este ángulo a aproximadamente 10 grados, se logró un funcionamiento más efectivo del sistema.

Durante las pruebas iniciales, se identificó la presencia de turbulencias y burbujas en el fluido, a pesar de utilizar alcohol desnaturalizado al 70%. Esto afectó negativamente la calidad de las imágenes obtenidas y dificultando su análisis, lo cual fue crucial para el análisis de imágenes.

Al experimentar con diferentes fluidos para vaciarlo de manera controlada se encontró una manera más manejable de vaciar los insectos, esta manera constaba de colocar una espiga en la boquilla de una botella, ponerla de cabeza, colocar una manguera que conectara con el sistema de inspección de insectos y hacer pasar las muestras de insectos, como se ve a continuación. Esta modificación resultó ser efectiva, ya que el fluido comenzó a comportarse de manera laminar, sin turbulencias ni burbujas notables (Ilustración 97).

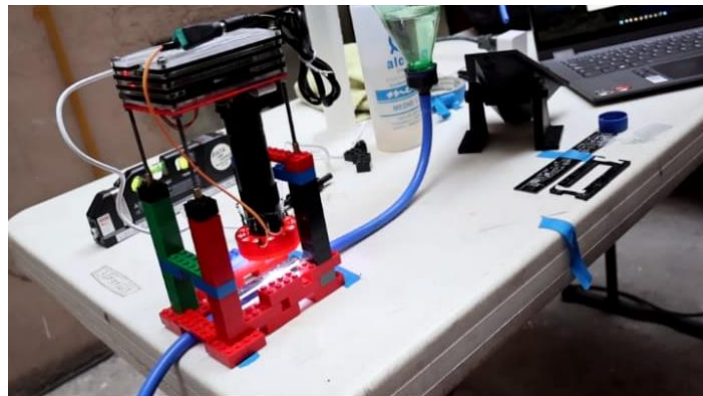


Ilustración 97 Experimentación de laboratorio. (Elaboración propia)

La principal conclusión extraída de estos resultados es la importancia crítica del proceso de vaciado controlado. Se constató que un control preciso durante este proceso es fundamental para evitar obstrucciones y la entrada de aire al sistema, factores que pueden generar turbulencias y burbujas. El uso del adaptador de rosca demostró ser una solución efectiva para mantener un flujo laminar constante en el sistema de inspección.

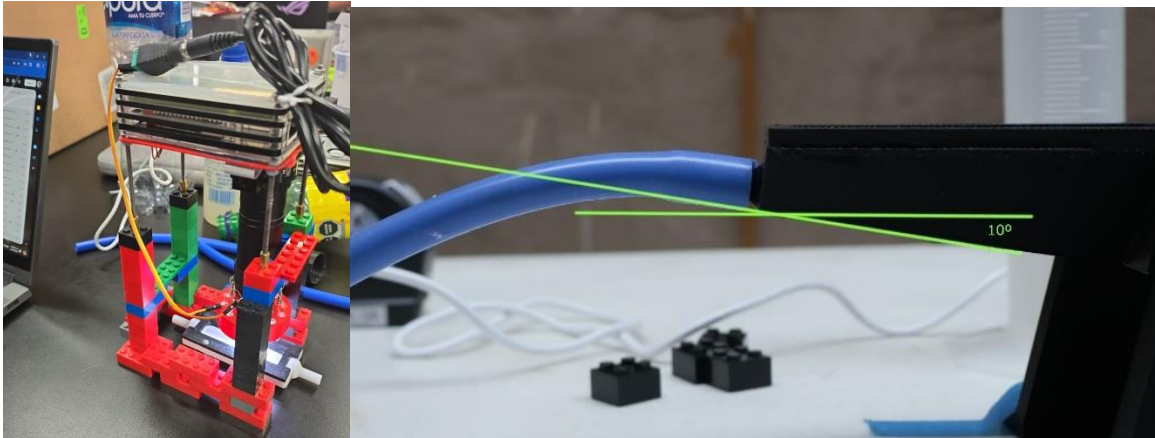


Ilustración 98. Pruebas experimentales y plano inclinado. (Elaboración propia)

De esta manera se llevaron a cabo la experimentación y el diseño de varios prototipos, cada uno de los cuales contribuyó a comprender aspectos clave de nuestro problema. Aunque los progresos no siguieron un progreso lineal, estamos acercándonos a un punto de convergencia en la resolución de nuestro objetivo.

Filtrado de insectos por tamaño.

De nueva cuenta se resalta la importancia de delimitar los tamaños de las especies a muestrear en el sistema, dado que la variabilidad en los tamaños de los insectos planteaba desafíos significativos en los procesos de inspección y reconocimiento de estos.

Se reconoce la necesidad crucial de separar los insectos de interés del resto para garantizar que pasen sin contratiempos por el lente de la cámara, evitando así pérdidas de muestras relevantes. Con este propósito, se diseñó un sistema de filtrado que opera periódicamente activando un filtro para enviar los insectos filtrados por un conducto, mientras que aquellos atascados en el filtro se dirigen por otro ducto. Este proceso permite que las muestras deseadas avancen sin problemas, al mismo tiempo que se limpia el filtro regularmente para prevenir obstrucciones.

Inicialmente, este filtro se construyó utilizando materiales biodegradables como PLA mediante impresión 3D, lo cual permitió validar su funcionamiento y los principios físicos involucrados. No obstante, se contempla la posibilidad de emplear materiales metálicos como aluminio o acero inoxidable en versiones posteriores para mejorar la resistencia y precisión del filtro, una vez que se haya demostrado su eficacia de manera experimental.

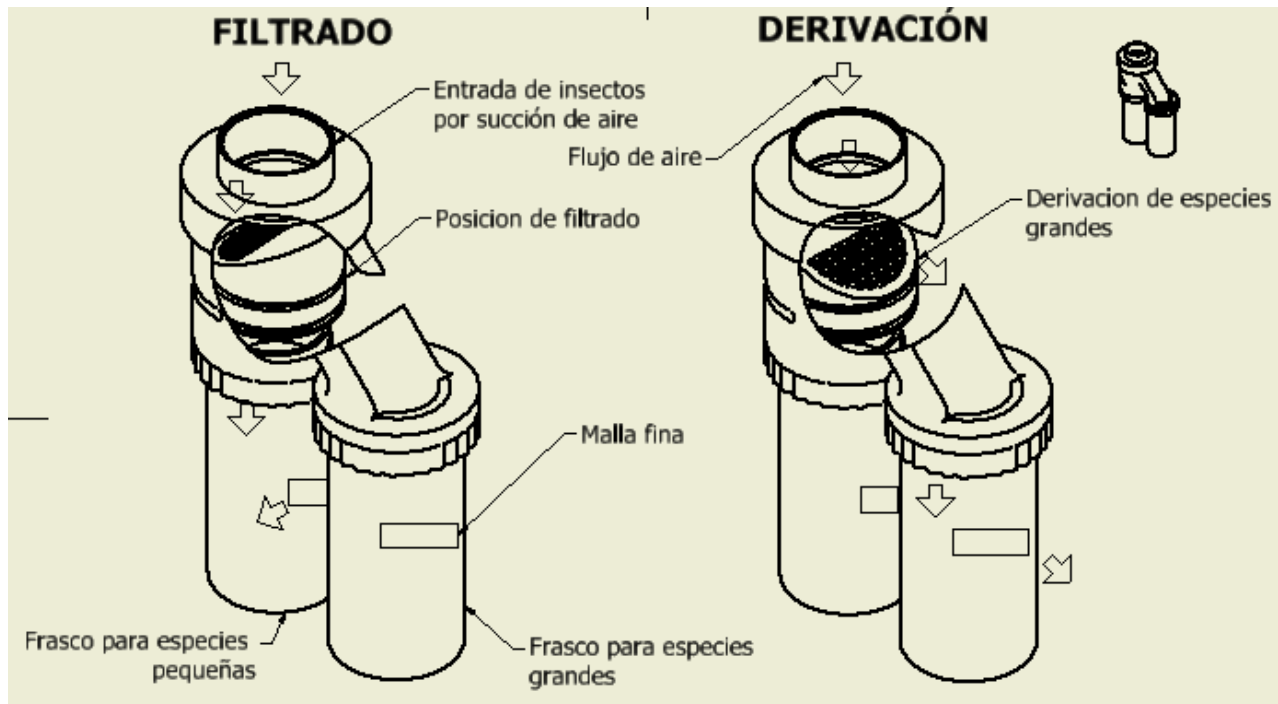


Ilustración 99 Diagrama de funcionamiento de filtro. (Elaboración propia)

Después de fabricar el filtro, procedimos a la fase de pruebas, durante la cual notamos que los insectos generalmente no quedaban atascados que era uno de los cuestionamientos, salvo en situaciones excepcionales. Sin embargo, estos incidentes fueron poco frecuentes otro aspecto que afectó nuestros resultados es que no era la temporada de insectos grandes y es por ello por lo que no se notaba si los insectos grandes se derivaban a su respectivo frasco. En vista de estos resultados, se decidió para la siguiente versión reducir el tamaño de la malla del filtro y cambiar el material a metal, lo cual aumentaría la precisión en las tolerancias una vez validado el proceso.

Al validar este nuevo diseño del filtro, se observó que cumplíamos con éxito la reducción del sistema de transporte de insectos de manera significativa. A continuación, se presentan algunas imágenes del filtro fabricado, su instalación y las muestras obtenidas con el filtro en funcionamiento.



Ilustración 100. Instalación del filtro y resultados. (Elaboración propia)

Elección de motobomba para fluido.

Para el transporte de fluidos inflamables o corrosivos como es el alcohol, que se planea utilizar para la preservación de los insectos, se pueden utilizar diferentes tipos de bombas. Es importante seleccionar la bomba adecuada según las propiedades específicas del fluido y las condiciones de operación para garantizar un transporte seguro y eficiente y es por lo cual se presenta la siguiente tabla comparativa para poder elegir la mejor opción para nuestra aplicación.

Tipo de Bomba	Características Principales	Aplicaciones Comunes
Bombas Centrífugas Químicas	<ul style="list-style-type: none"> - Diseñadas para líquidos corrosivos y peligrosos. - Materiales resistentes a la corrosión. - Sellos especiales para evitar fugas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Industria química - Procesos industriales
Bombas de Diafragma	<ul style="list-style-type: none"> - Diseño hermético para líquidos peligrosos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Manipulación de líquidos corrosivos - Trasvase de sustancias peligrosas



	<ul style="list-style-type: none">- Separación física entre fluido y componentes internos.- Menos mantenimiento.	
Bombas Magnéticamente Accionadas	<ul style="list-style-type: none">- Acoplamiento magnético para evitar fugas.- Seguras para líquidos peligrosos.- Menos fallos mecánicos.	<ul style="list-style-type: none">- Manipulación de líquidos inflamables- Procesos industriales
Bombas de Lóbulos o de Engranajes	<ul style="list-style-type: none">- Variedad de materiales para fluidos corrosivos.- Mantenimiento regular requerido.	<ul style="list-style-type: none">- Procesamiento de líquidos corrosivos- Manipulación de líquidos inflamables
Bombas Peristálticas	<ul style="list-style-type: none">- Evitan contacto directo del fluido con partes internas.- Diseño hermético para líquidos corrosivos.- Menor mantenimiento.	<ul style="list-style-type: none">- Manipulación de líquidos corrosivos- Procesos industriales

Tabla 11 Elección de bomba

Debido al tamaño requerido para la bomba en este proyecto, las opciones de bombas centrífugas químicas y otras similares, que son más comunes en entornos industriales, no son adecuadas. Su tamaño y capacidad suelen ser excesivos para nuestras necesidades específicas.

Por ello, se está considerando la posibilidad de utilizar bombas peristálticas y bombas de diafragma. Estas opciones son más escalables y pueden encontrarse en tamaños adecuados para nuestro proyecto. Las bombas peristálticas, en particular, ofrecen ventajas en términos de facilidad de uso y mantenimiento, además de proporcionar un flujo controlado sin el riesgo de contaminación del fluido por partes internas de la bomba. En cuanto a las bombas de diafragma, su diseño hermético y la separación física entre el fluido y los componentes internos también las hacen aptas para manejar líquidos corrosivos y peligrosos como el alcohol.



Sistema de recolección de insectos.

Después de un análisis exhaustivo, se identificó que el sistema de recolección de insectos era uno de los componentes que requería una revisión significativa en nuestro diseño. Inicialmente, se intentó reducir el tamaño del revólver utilizado para el monitoreo pausado de las especies atrapadas en la trampa, ya que el espacio disponible era limitado. Sin embargo, al profundizar en la evaluación, se comprendió que, si el sistema operaba según lo previsto, el revólver tradicional no sería necesario.

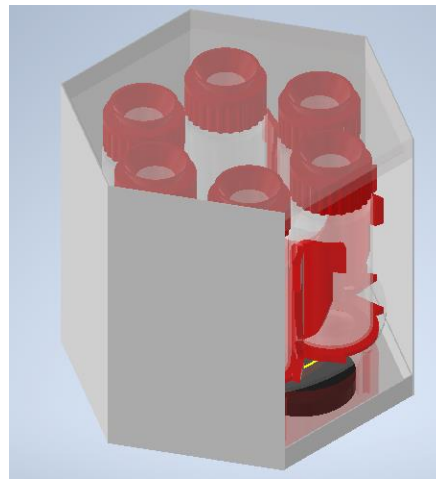


Ilustración 101. Propuesta inicial de rediseño del sistema de recolección de insectos. (Elaboración propia)

En consecuencia, se decidió dar menos énfasis al revólver de recolección y enfocar más la atención en los otros dos sistemas críticos que requerían mayor atención. Como resultado, se replanteó el sistema de recolección de insectos como un recipiente simple donde todos los insectos caerían, manteniendo una solución conservante. El monitoreo ya no sería realizado manualmente, sino que se delegaría al sistema de monitoreo de insectos.

Aunque se reconoce que la transición tecnológica a este nuevo enfoque puede requerir una fase de constatación manual y automática para garantizar el funcionamiento adecuado del sistema, se espera que esta modificación simplifique y optimice el proceso de recolección y monitoreo de insectos una vez constatada su fiabilidad.

El sistema de recolección de insectos se ubicó estratégicamente después del sistema de inspección de insectos, consistiendo en un contenedor equipado con un filtro sumergido constantemente en una solución de alcohol para la preservación de los insectos. Este mismo frasco se utilizó para recircular el fluido a lo largo de las distintas etapas de nuestro sistema de transporte



de insectos. Esta configuración simplificó enormemente nuestro sistema, cumpliendo con los requisitos básicos de funcionamiento y asegurando una transición tecnológica fluida. La única acción necesaria para esta transición era reemplazar el frasco y evaluar las muestras capturadas por la cámara con respecto a las muestras reales.

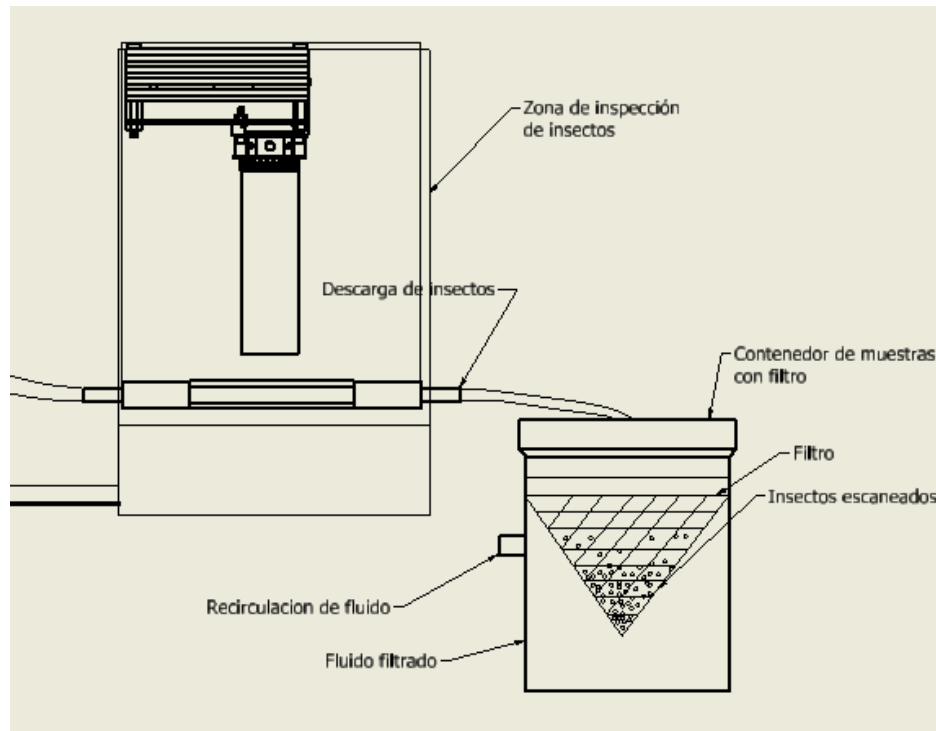


Ilustración 102 Sistema de recolección de insectos. (Elaboración propia)



Capítulo 6. Resultados y conclusiones

Resultados

A través de este proceso de rediseño, logramos importantes mejoras en el diseño del sistema, enfocándonos en su compactación para reducir costos y hacerlo más asequible, al tiempo que mejoramos su eficiencia, funcionamiento y facilidad de uso. Se simplificaron significativamente los componentes, optimizando procesos y minimizando errores, lo que resultó crucial para evitar posibles fallos en condiciones reales de campo.

Este rediseño también contribuyó a la precisión y fiabilidad del sistema al evitar sistemas complejos o propensos a fugas, que podrían haber complicado su operación y aumentado la posibilidad de errores. Se logró una reducción en las pérdidas de muestras y una mejor preservación de los insectos, así como una minimización de fallos técnicos.

Un aspecto notable es la mejora en la facilidad de mantenimiento, con una mayor accesibilidad para tareas de limpieza y mantenimiento, lo que ayuda a prolongar la vida útil del sistema y a mantener su eficacia a lo largo del tiempo.

Los resultados experimentales respaldan este enfoque, mostrando que estamos en el camino correcto. Aunque aún no hemos llegado a conclusiones definitivas, estamos optimistas de que esta versión requerirá ajustes mínimos para su pleno funcionamiento en entornos reales.

La implementación de este dispositivo representa una importante adaptación tecnológica, especialmente en la detección temprana de plagas mediante la integración de inteligencia artificial, lo que sin duda contribuirá significativamente a la eficacia y precisión en el monitoreo y control de plagas agrícolas.



Futuros proyectos

Para futuros proyectos, sería beneficioso explorar nuevos enfoques en el diseño del sistema de clasificación de insectos, con el objetivo de mejorar tanto su precisión como eficiencia operativa. Si bien en este trabajo se adoptó en un principio con un enfoque más industrial durante el diseño, podría valer la pena considerar una aproximación inicial más orientada hacia un sistema de laboratorio. Esto podría proporcionar una plataforma más flexible para realizar pruebas y ajustes antes de la implementación completa.

Es recomendable considerar el cambio de materiales y formas de manufactura, que demostraron no ser adecuados por otros con una mayor resistencia química y mecánica. Esto contribuiría a mejorar la durabilidad y robustez del dispositivo, garantizando un rendimiento óptimo incluso en condiciones ambientales desafiantes. Además, se sugiere realizar una mayor cantidad de prototipos y pruebas en diversas condiciones para validar los diseños propuestos y detectar posibles áreas de mejora con mayor anticipación.

Una sugerencia clave sería ampliar el número de miembros del equipo en áreas multidisciplinarias, lo que permitiría un enfoque más especializado en cada uno de los sistemas que componen el dispositivo. La colaboración interdisciplinaria puede aportar una variedad de perspectivas y experiencia que enriquecerían el proceso de diseño y desarrollo del proyecto.

Además, se propone continuar con la simplificación de la electrónica utilizada, ya que esta puede ser especialmente vulnerable en entornos con condiciones ambientales adversas. La sustitución de sistemas más complejos por soluciones más simples y robustas podría mejorar significativamente la confiabilidad y la facilidad de mantenimiento del proyecto en el futuro.



Conclusiones

Se logró el diseño y la fabricación de un clasificador de insectos autónomo funcional en su primera iteración, seguido por un rediseño más compacto y versátil en la segunda versión, que se sometió únicamente a pruebas de laboratorio. Estos avances significativos permitieron cumplir con una parte considerable de los objetivos y especificaciones establecidos al inicio del proyecto, lo que demuestra la efectividad del enfoque metodológico utilizado y resalta la importancia de una planificación detallada en el desarrollo de dispositivos complejos.

Durante este proceso, identificamos áreas críticas que requieren atención en futuras investigaciones. Esto incluye la necesidad de un prototipado más riguroso para validar el sistema antes de la implementación completa, así como una selección más cuidadosa de materiales para garantizar la durabilidad y eficacia del dispositivo en diversas condiciones.

La colaboración interdisciplinaria y la consulta de expertos en áreas pertinentes fueron fundamentales. La naturaleza multifacética del proyecto destacó la importancia de un enfoque integrado que abarque aspectos de ingeniería, biología y diseño de sistemas.

Este proyecto contribuyó significativamente al avance del conocimiento en el campo al desarrollar nuevas tecnologías y aplicar metodologías innovadoras en el diseño y fabricación de dispositivos autónomos para la clasificación de insectos en la agricultura. Los resultados obtenidos proporcionan una base sólida para investigaciones futuras en áreas relacionadas.

Las lecciones aprendidas durante este proyecto serán cruciales para orientar futuros proyectos, enfatizando la importancia de la adaptación y la innovación en un entorno de investigación en constante evolución. Aunque enfrentamos desafíos y limitaciones, los logros alcanzados representan un paso significativo hacia soluciones más eficientes y efectivas en el monitoreo de plagas.



Bibliografía y Referencias

- [1] SIAP, «GOBIERNO DE MEXICO,» 2023. [En línea]. Available: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/839187/Naranja_Junio.pdf.
- [2] Gobierno de México, «Naranja. Más que un jugo.,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.gob.mx/profeco/documentos/naranja-mas-que-un-jugo?state=published#:~:text=En%202022%2C%20esta%20variedad%20represent%C3%B3,el%20r esto%20de%20las%20entidades..>
- [3] INIFAP, «Innovaciones para el campo,» *Boletín informativo INIFAP*, pp. 22-24, Septiembre 2020.
- [4] Ivia, «Gestión integrada de plagas y enfermedades,» [En línea]. Available: <https://app.bibguru.com/p/bb90cf03-8b8a-43aa-8024-321622d5d7ab>. [Último acceso: 2024 mayo 15].
- [5] Senasica, «Análisis de impacto económico ante un posible establecimiento y dispersión del cancro de los cítricos en México en áreas comerciales,» Agosto 2022. [En línea]. Available: https://dj.senasica.gob.mx/Contenido/files/2022/agosto/An%C3%A1lisisdeimpactoecon%C3%B3micoanteunposibleestablecimientoydispersi%C3%B3ndelCancrodelosc%C3%ADtricosenM%C3%A9xic oen%C3%A1reascomerciales_107e4f44-49be-4b9a-8058-df20da906b1a.pdf.
- [6] N. Olivares, «Plagas de los cítricos, reconocimiento y manejo,» 2014. [En línea]. Available: <https://www.comitedecitricos.cl/images/archivo/Boletín-Plagas-de-los-Citricos-Reconocimiento-y-Manejo.pdf>. [Último acceso: 21 Mayo 2024].
- [7] P. Tecnología, «Importancia del monitoreo de plagas en la agricultura,» 20 octubre 2020. [En línea].
- [8] Universidad de Stanford, «Machine Learning,» 2020. [En línea]. Available: <https://see.stanford.edu/Course/CS229/47>.
- [9] IBM, «¿Qué son las redes neuronales convolucionales?,» 29 mayo 2024. [En línea]. Available: <https://app.bibguru.com/p/bb90cf03-8b8a-43aa-8024-321622d5d7ab>.
- [10] G. J. P. Artega, «Aplicación del aprendizaje profundo al procesamiento de señales digitales,» 26 Marzo 2015. [En línea]. Available: <https://red.uao.edu.co/server/api/core/bitstreams/d8581814-2168-421b-b11a-440c9904f17a/content>. [Último acceso: 2024 junio 10].
- [11] J. Knapp, *Sprint: How to solve big problems and test new ideas in just five days.*, New York, 2016.



- [12] A. Javier, «Qué es la metodología Design Sprint y sus fases,» 4 mayo 2020. [En línea]. Available: <https://www.uxables.com/disenio-ux-ui/que-es-la-metodologia-design-sprint-y-sus-fases/>.
- [13] Educaplus, «Rueda de ginebra de 6 pasos,» 12 Abril 2005. [En línea]. Available: <https://www.educaplus.org/game/rueda-de-ginebra-6-pasos>.
- [14] Picuino, «Engranajes,» 05 2023. [En línea]. Available: <https://www.picuino.com/es/mecan-engranajes.html>.
- [15] W. D. C. a. D. G. Rethwisch, *Materials Science and Engineering: An Introduction*, Wiley: Hoboken, 2018.
- [16] L. Spring, «Resortes de compresion,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.leespring.mx/es/resortes-de-compresion>. [Último acceso: 2023].
- [17] Prismacim, «Especial impresión 3D : Normas básicas de diseño para impresión 3D,» [En línea]. Available: <https://prismacim.com/normas-basicas-de-diseno-para-impresion-3d/>. [Último acceso: 2023].
- [18] J. M. NIETO, «Pulgonos y su captura mediante trampas: La red Euraphid,» 1990, pp. 593-603.
- [19] M. Navarrete, *Estudios de Flujo Cavitante en Geometría Venturi*, Puerto Vallarta, 2014.
- [20] R. Hibbeler, *Mecanica de materiales*, Pearson, 2016.
- [21] S. M. F., *Elementos de maquinas*, Evanston: Pretince Hall, 2006.
- [22] C. Á. S. Noemi, «Comportamiento estructural de probetas de PLA fabricadas por el proceso de Modelado por Deposición Fundida (FDM),» *MEMORIAS DEL XXVI CONGRESO INTERNACIONAL ANUAL DE LA SOMIM*, Octubre 2020.
- [23] INIFAP, «Tecnología para monitoreo de plagas de alta movilidad,» Diciembre 2018. [En línea]. Available: <https://www.gob.mx/inifap/prensa/inifap-presenta-tecnologia-para-monitoreo-de-plagas-de-alta-movilidad>.
- [24] S. L. Coover, *Interpretación de dibujo mecánico*, Naucalpan: McGraw-hill, 2003.
- [25] Gobierno de México, «Las plagas producen pérdidas de hasta un 40 por ciento en la producción agrícola, revela estudio de la FAO.,» Abril 2019. [En línea]. Available: <https://www.gob.mx/agroasemex/articulos/las-plagas-producen-perdidas-de-hasta-un-40-por-ciento-en-la-produccion-agricola-revela-estudio-de-la-fao>. [Último acceso: Enero 2023].



DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN CLASIFICADOR DE INSECTOS AUTÓNOMO PARA EL MONITOREO DE PLAGAS EN LA CITRICULTURA.



- [26] Gobierno de México, «México potencia en control biológico de plagas,» Diciembre 2019. [En línea]. Available: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/mexico-potencia-en-control-biologico-de-plagas>.
- [27] P. Carmen, «Introducción al manejo integrado de plagas, monitoreo de plagas en cítricos y fenología del cultivo,» 2021. [En línea]. Available: https://www.fontagro.org/new/uploads/adjuntos/MODULO_1.pdf.
- [28] Igus Motion Plastics, «Soluciones en automatización industrial,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.igus.es/roboLink/robots-cartesianos>.
- [29] T. Manuel, Desarrollo de un mecanismo de 4 barras, CDMX, 2009.
- [30] Mecapedia, «Seguidor,» 29 Enero 2008. [En línea].
- [31] A. Lozano, «Intercambiador automático de muestreo para una trampa de succión de insectos de alta movilidad con enfoque de internet de las cosas (IOT),» 2019. [En línea]. Available: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/17171/1/Tesis.pdf>.
- [32] A. Lozano, «Intercambiador automático de muestreo para una trampa de succión para insectos de alta movilidad con enfoque de internet de las cosas (IOT),» 2019. [En línea].
- [33] Gobierno de Guerrero, «Campaña Nacional contra Moscas de la Fruta en el Estado de Guerrero,» 20 Febrero 2020. [En línea]. Available: <https://www.gob.mx/agricultura/guerrero/es/articulos/campana-nacional-contra-moscas-de-la-fruta-en-el-estado-de-guerrero>.