



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

TEMA:

**“ANÁLISIS MEDIANTE FLUIDODINÁMICA COMPUTACIONAL DE UN
PROTOTIPO DE ASPERSOR DE AGUA PARA UN CULTIVO DE PAPAS EN
LA PARROQUIA DE TANICUCHI”**

AUTOR: Robinson Germánico Venegas Quinatoa

TUTOR: Ing. Mg. Diego Fernando Núñez Núñez

AMBATO - ECUADOR

Septiembre - 2023

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema: **“ANÁLISIS MEDIANTE FLUIDODINÁMICA COMPUTACIONAL DE UN PROTOTIPO DE ASPERSOR DE AGUA PARA UN CULTIVO DE PAPAS EN LA PARROQUIA DE TANICUCHI”** elaborado por el Sr. Robinson Germánico Venegas Quinatoa, portador de la cédula de ciudadanía: 0503866097, estudiante de la Carrera de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente Trabajo Experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, septiembre 2023




Ing. Diego Fernando Núñez Núñez, Mg.

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Robinson Germánico Venegas Quinatoa, con C.I.: 0503866097 declaró que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente Trabajo Experimental con el tema **“ANÁLISIS MEDIANTE FLUIDODINÁMICA COMPUTACIONAL DE UN PROTOTIPO DE ASPERSOR DE AGUA PARA UN CULTIVO DE PAPAS EN LA PARROQUIA DE TANICUCHI”**, así como también los criterios, figuras, tablas, discusión de los resultados, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, septiembre 2023



Robinson Germánico Venegas Quinatoa

C.I. 0503866097

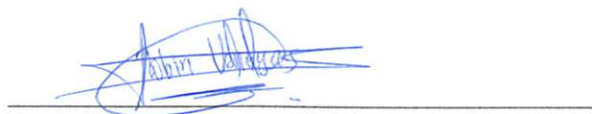
AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, septiembre 2023



Robinson Germánico Venegas Quinatoa

C.I. 0503866097

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Robinson Germánico Venegas Quinatoa de la Carrera de Ingeniería Mecánica bajo el tema: “ANÁLISIS MEDIANTE FLUIDODINÁMICA COMPUTACIONAL DE UN PROTOTIPO DE ASPERSOR DE AGUA PARA UN CULTIVO DE PAPAS EN LA PARROQUIA DE TANICUCHI”

Ambato, septiembre 2023

Para constancia firman:



Ing. Mg. Santiago Paúl Cabrera Anda

MIEMBRO CALIFICADOR



Ing. Mg. César Hernán Arroba Arroba

MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a dios en primer lugar por darme las fuerzas para llegar a este momento y poder concluir con mi carrera universitaria.

A mis padres por ser un ejemplo de perseverancia, responsabilidad que me formaron para ser una persona de bien, también por los sacrificios que hicieron para apoyarme siempre en mis estudios superiores.

A mis hermanos que me brindaron su apoyo y palabras de aliento para seguir adelante y culminar las metas que me propuse, así como también a mis amigos por brindarme su amistad y con lo que compartimos buenos momentos.

AGRADECIMIENTO

Primero agradezco a Dios y a mis padres por el apoyo incondicional de manera económica y que con sus consejos me forjaron en la persona que soy en la actualidad.

A la Universidad Técnica de Ambato por permitirme ser parte de esta prestigiosa institución. En específico a la Carrera de Ingeniería Mecánica que posee profesionales de primera que con su arduo trabajo y experiencia lograron transmitirnos sus conocimientos y formarnos como personas y profesionales.

A mi tutor Ing. Diego Núñez, por guiarme e impartirme sus conocimientos y así poder seguir avanzando con mis proyectos de tesis, a través de sus enseñanzas despertó el interés por el método de análisis por elementos finitos.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
RESUMEN EJECUTIVO	xiv
ABSTRACT	xv
CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Antecedentes investigativos	1
1.2. Objetivos.....	3
1.2.1. Objetivo general.....	3
1.2.2. Objetivos específicos	3
1.3. Hipótesis.....	3
1.4. Fundamentación teórica.....	3
1.4.1. Sistemas de Riego	4
1.4.2. Beneficios de los sistemas de riego.....	5
1.4.3. Nivel de tecnificación e innovación en los sistemas riego en el Ecuador	5
1.4.3.1. Riego superficial o por gravedad.....	5
1.4.3.2. Riego tecnificado.....	6
1.4.3.3. Optimización del recurso hídrico.....	6
1.4.3.4. Riego por Aspersión	6
1.4.3.5. Sistemas Portátiles	7
1.4.3.6. Sistemas Semiportátiles	8
1.4.3.7. Sistemas Fijos	8
1.4.4. Componentes de un Sistema de Riego por Aspersión	8
1.4.5. Condiciones que favorecen la instalación del método	9
1.4.6. Tipo de Aspersores.....	11

1.4.7.	Cultivo de papas en el país.....	13
1.4.7.1.	Etapas fenológicas de la papa.....	14
1.4.7.2.	Requerimientos climáticos y edáficos del cultivo de la papa.....	14
1.4.8.	Fluidodinámica computacional.....	16
1.4.8.1.	Metodología CFD.....	17
1.4.8.2.	Método de volúmenes finitos (FVM).....	18
1.4.8.3.	Modelos de turbulencia.....	18
1.4.9.	Diseño agronómico.....	19
1.4.10.	Diseño hidráulico.....	19
1.4.10.1.	Principio de Bernoulli.....	20
1.4.10.2.	Ecuación de Bernoulli.....	20
CAPÍTULO II METODOLOGÍA.....		21
2.1.	Materiales.....	21
2.2.	Métodos.....	22
2.2.1.	Nivel o tipo de investigación.....	22
2.2.2.	Metodología del proceso de diseño y simulación.....	23
2.3.	Recolección de datos.....	24
2.3.1.	Localización geográfica del proyecto.....	24
2.3.2.	Datos microaspersor.....	25
2.4.	Necesidades hídricas de la papa.....	26
2.4.1.	Determinación del coeficiente del cultivo.....	26
2.4.2.	Determinación evapotranspiración del cultivo (ETc).....	26
2.4.3.	Determinación de la necesidad neta (Nn).....	27
2.4.4.	Determinación de la necesidad total (Nt).....	28
2.5.	Diseño del sistema parcelario.....	28
2.6.	Concepción del sistema de riego.....	29
2.6.1.	Conducción entubada desde el reservorio hasta el sistema de riego.....	29
2.6.2.	Volumen del reservorio.....	29
2.7.	Diseño hidráulico.....	30
2.7.1.	Cálculo de presiones y pérdidas de energía.....	30
2.7.2.	Pérdidas de Energía en Válvulas de Compuerta.....	34
2.7.3.	Pérdidas de Energía debido a la Fricción.....	37

2.8.	Cálculo hidráulico del microaspersor	40
2.8.1.	Número de Reynolds en el microaspersor	41
CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN		42
3.1.	Ensayo de resina Model v2	42
3.2.	Ensayo de resina Tough 2000	46
3.3.	Comportamiento de microaspersores en Software de análisis por CFD .	49
3.3.1.	Parámetros de software	49
3.3.2.	Configuración de la malla	50
3.3.3.	Aspersor de micro JET II	54
3.3.4.1.	Aspersor 1 Diseño Original (AT1)	55
3.3.4.2.	Aspersor 1 Modificada 1(AT1M1)	56
3.3.4.3.	Aspersor 1 Modificada 2 (AT1M2)	58
3.3.5.1.	Aspersor 2 Diseño Original (AT2)	59
3.3.5.2.	Aspersor 2 Modificada 1(AT2M1)	61
3.3.5.3.	Aspersor 2 Modificada 2 (AT2M2)	62
3.4.	Construcción de los nuevos modelos	64
3.4.1.	Fabricación de los modelos con resina Tough 2000	64
3.4.2.	Rediseño con impresiones en resina	67
3.5.	Pruebas de funcionamiento del microaspersor	70
3.6.	Análisis de resultados	74
3.7.	Verificación de la hipótesis.....	75
CAPÍTULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		77
4.1.	Conclusiones.....	77
4.2.	Recomendaciones	78
BIBLIOGRAFÍA.....		80
ANEXOS.....		83
PLANOS		89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Aspersor de impacto [21].....	9
Figura 2. Análisis CFD [28].....	17
Figura 3. Fluido volumen de control en un dominio [1].....	18
Figura 4. Plan de procesamiento y análisis	24
Figura 5. Área del terreno Tanicuchi	25
Figura 6. Esquema hidráulico	30
Figura 7. Esquema de presiones (tanque y tubería 2'').....	32
Figura 8. Coeficiente de Resistencia de Entrada [36].....	33
Figura 9. Esquema de los componentes de la tubería primaria.....	34
Figura 10. Tipos de válvula.....	35
Figura 11. Factor de fricción según el tamaño de la tubería	35
Figura 12. Factor de fricción según el tamaño de la tubería	36
Figura 13. Rugosidad del plástico.....	38
Figura 14. Diagrama de Moddy	38
Figura 15. Probetas de resina Model V2, marca Formlabs	43
Figura 16. Geometría de análisis por CFD.....	51
Figura 17. Definición método de mallado.....	51
Figura 18. Parámetros para el mallado y números de elementos	51
Figura 19. Refinamiento del modelo en la salida del fluido	52
Figura 20. Calidad del mallado	52
Figura 21. Mallado computacional	53
Figura 22. Condiciones de frontera del modelo AT1M2	53
Figura 23. Diseño aspersor micro Jet.....	54
Figura 24. Aspersor 1	55
Figura 25. Velocidad.....	55
Figura 26. Presión	56
Figura 27. Velocidad.....	56
Figura 28. Presión	57
Figura 29. Velocidad.....	58
Figura 30. Presión	58
Figura 31. Aspersor 3	59

Figura 32. Velocidad.....	59
Figura 33. Presión	60
Figura 34. Velocidad.....	61
Figura 35. Presión	61
Figura 36. Velocidad.....	62
Figura 37. Presión	63
Figura 38. Simulación de variable de partículas	63
Figura 39. Preform probeta ASTM D638	64
Figura 40. Preform probeta ASTM D638	65
Figura 41. Ensayos de tracción	65
Figura 42. Resultados de tracción de la probeta con resina Tough 2000.....	66
Figura 43. Impresión de las partes del microaspersor original en resina Tough 2000	66
Figura 44. Limpieza y post curado de las piezas con resina Tough 2000.....	67
Figura 45. Ensamble del diseño 1 impreso	69
Figura 46. Ensamble del diseño 2 impreso	69
Figura 47. Banco de pruebas.....	70
Figura 48. Dispositivos colocados en el banco de pruebas.....	71
Figura 49. Funcionando con las espigas modificadas del diseño	71
Figura 50. Alcance Aspersor 1	74
Figura 51. Alcance Aspersor 2.....	75
Figura 52. Grafica velocidades vs alcance de aspersion	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Determinación del elevador según el caudal de agua [7].....	9
Tabla 2. Tipo de aspersores en el mercado actual.....	11
Tabla 3. Recursos y materiales asignados.....	21
Tabla 4. Selección de alternativas de diseño.....	25
Tabla 5. Determinación del coeficiente del cultivo	26
Tabla 6. Resultados de evapotranspiración de Cultivo	27
Tabla 7. Resultados de la necesidad total.....	28
Tabla 8. Tiempos de muestreo de caudal en la salida del tanque y la tubería de 2".	30
Tabla 9. Tiempos de muestreo en la tubería de 1/2"	31
Tabla 10. Ficha de tabulación de datos resina Model V2	44
Tabla 11. Ficha de tabulación de datos Resina Tough 2000.....	47
Tabla 12. Parámetros usados para el Software.....	50
Tabla 13. Elementos impresos en resina Tough 2000, marca Formlabs.....	68
Tabla 14. Cuadro comparativo del funcionamiento del sistema de aspersión	72
Tabla 15. Cuadro comparativo de velocidades con el alcance de aspersión obtenidos mediante CFD.	75

RESUMEN EJECUTIVO

En la parroquia Tanicuchi los agricultores buscan un sistema de riego que sea eficiente para el cultivo de papa ya que el suelo es de tipo arenoso y se requiere de grandes cantidades de agua que se distribuyan durante el día. Por tal motivo es necesario la implementación de un prototipo de aspersor, que mejoren la productividad y sea eficiente, la investigación tiene como objetivo analizar mediante fluidodinámica computacional un prototipo de aspersor de agua para un cultivo de papas.

Se utilizó una metodología experimental para el proceso de simulación con la herramienta CFD para analizar la forma y comportamiento del fluido, una vez determinado los datos se identificó las áreas que se pueden rediseñar en el dispositivo para mejorar su rendimiento y alcance, se remodelo las geometrías y se realizó múltiples simulaciones para obtener un modelo con mejor rendimiento, luego de eso se tomaron los datos de todos los modelos y se realizó la comparación de los resultados.

Además, como resultado se encontró que el comportamiento interno del fluido depende de la espiga y su interior, la velocidad óptima para un microaspersor modificado es de 2,32 [m/s] y un rango de 3,5 [m] en la salida del chorro y que llega a la superficie del suelo, lo que resulta en una buena nebulización para las papas durante todo el proceso de germinación y crecimiento. Finalmente, en esta investigación se concluyó que el microaspersor depende de los parámetros iniciales y el tipo de resina utilizada en la impresión 3D.

Palabras clave: microaspersor, fluidodinámica computacional, cultivo de papa, simulación de software, impresión 3D.

ABSTRACT

In the Tanicuchi parish, farmers seek an irrigation system that is efficient for potato cultivation since the soil is sandy and requires large amounts of water to be distributed during the day. For this reason, it is necessary to implement a sprinkler prototype, which improves productivity and is efficient, the research aims to analyze a prototype water sprinkler for a potato crop using computational fluid dynamics.

An experimental methodology was used for the simulation process with the CFD tool to analyze the shape and behavior of the fluid, once the data was determined, the areas that can be redesigned in the device were identified to improve its performance and scope, the geometries were remodeled and multiple simulations were carried out to obtain a model with better performance, after that the data from all the models were taken and the results were compared.

In addition, as a result, it was found that the internal behavior of the fluid depends on the spike and its interior, the optimal speed for a modified micro-sprinkler is 2.32 [m/s] and a range of 3.5 [m] at the outlet of the jet and reaching the soil surface, which results in good misting for potatoes throughout the germination and growth process. Finally, in this investigation it was concluded that the microsprinkler depends on the initial parameters and the type of resin used in 3D printing.

Keywords: microsprinkler, computational fluid dynamics, potato cultivation, software simulation, 3D printing.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes investigativos

En este proyecto, se estudió el comportamiento intrínseco de los aspersores utilizando modernas técnicas computacionales y experimentales. En concreto, el proyecto se centró en el estudio de sistemas de riego para cultivos de papa en la parroquia de Tanicuchi.

En la actualidad, la necesidad de implementar procesos computacionales en diversos campos de desarrollo y aplicación como minería, pesca, industria alimenticia, entre otras; por citar algunos ejemplos, nos lleva a la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías que nos permitan garantizar el correcto funcionamiento del proceso a mejorar [1].

El término " fluidodinámico " se refiere a la gran cantidad de datos que debe procesar el software para crear o modificar un producto. En la industria agrícola, el proceso de riego es fundamental y siempre hay algo que mejorar para llevar un determinado producto alimenticio a un nivel superior de calidad. Usando dinámica de fluidos computacional, se encuentran defectos en el diseño del sistema de riego para mejorarlo [2].

En la investigación de Mamarandi et al., [3] un punto importante en el análisis de fluidos es identificar como se mueven las partículas del fluido, ya sea de forma laminar o turbulento. Se introduce en el análisis la ecuación de Reynolds y para definir el régimen de movimiento, otro aspecto importante es conocer la geometría por la que el flujo seguirá una determinada trayectoria, concretamente la región por la que pasa el fluido. Además, también hay que tener en cuenta el material que contiene el líquido, especialmente en su superficie, ya que puede ser material rugoso o liso. La velocidad del fluido es un dato importante, ya que de acuerdo con este parámetro se determinará el caudal. Todos los puntos mencionados anteriormente son parámetros de entrada que el diseñador debe tener en cuenta.

En la actualidad las personas que se dedican a las actividades agrícolas pierden los cultivos porque se experimentan cambios repentinos en el clima. Los agricultores afectados por las pérdidas en sus cultivos buscan algún sistema de riego que sea eficiente y amigable con el ecosistema. Por tal motivo, es necesario la implementación de un prototipo de aspersor, que mejore la productividad, la eficiencia y que el consumo del agua sea bajo [4]. Al igual que el método de superficie, en el método de rociado, el agua entra desde la superficie y se rellena a intervalos. Sin embargo, en este método, el agua se aplica por aspersión, es decir, la corriente se divide en innumerables pequeñas gotas de agua que ingresan al suelo a medida que ingresa [5].

Se han tomado como referencia los datos del Ministerio de Agricultura y Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP) para el cultivo de las papas y la superficie sembrada es de 50 mil hectáreas, de donde se producen 300 mil toneladas repartidas en la alimentación de cada familia. En el país, cada persona consume un promedio de 30 Kg de papa al año. El consumo de agua para cada planta de papa se encuentra en un promedio de 20 a 30 mm de agua [6].

El principal inconveniente de los sistemas de riego por aspersión es que a el agricultor le obliga a invertir cantidades de dinero considerables y los resultados no son los esperados. La mayoría de los aspersores existentes en el mercado no cumplen con la cantidad de agua necesaria para cada cultivo o genera grandes pérdidas de agua. Por tal motivo, se está analizando un prototipo de aspersor eficiente que beneficie a los agricultores de papas y estos puedan tener ganancias.

Este proyecto está enfocado en diseñar un prototipo de aspersor que sea óptimo para usarlos en los cultivos de papas evitando ocasionar gastos excesivos de agua y que moje las plantas de manera más eficiente. De modo que mediante el software de Fluidodinámica computacional se logrará modificar los diseños de los aspersores existentes en el mercado y se podrá simular para obtener la geometría óptima. Por último, se realizará las impresiones en 3D del diseño final del aspersor para poder ayudar a los agricultores de la parroquia de Tanicuchi.

1.2.Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Analizar mediante fluidodinámica computacional de un prototipo de aspersor de agua para un cultivo de papas en la parroquia de Tanicuchi.

1.2.2. Objetivos específicos

- Identificar los tipos de aspersores que ofrece el mercado actual para ser usados en cultivos de papas.
- Obtener la geometría del aspersor mediante software CAD para identificar el estado actual del mismo.
- Determinar los parámetros de diseño de los aspersores que se adapten al cultivo de papas con el fin de mejorar su funcionamiento.
- Modelar el aspersor mediante el uso de fluidodinámica computacional para evaluar su comportamiento.
- Fabricar los aspersores mediante impresión 3D para evaluar su funcionamiento.
- Realizar las pruebas de funcionamiento de los aspersores.

1.3. Hipótesis

Ho: El análisis de fluidodinámica computacional de aspersor de agua permitirá mejorar su rendimiento.

Ho1: El análisis de fluidodinámica computacional del aspersor de agua no permitirá mejorar su rendimiento.

1.4.Fundamentación teórica

A continuación, se muestran las bases teóricas que sustentan esta investigación sobre el análisis fluidodinámica computacional de un prototipo de aspersor para mejorar la producción de papas en la parroquia Tanicuchi.

1.4.1. Sistemas de Riego

Un sistema de riego es el conjunto de elementos físicos que hacen posible cultivar un área determinada con el suministro de agua necesario para el correcto crecimiento de las plantas o cultivos [4].

Según Carrazón [7] los sistemas de riego es una de las labores agronómicas de gran importancia que permite conseguir potencialmente el desarrollo agrícola de los cultivos incrementando sus rendimientos. El riego se puede definir como la aplicación artificial de agua al terreno con el fin de suministrar a las especies vegetales la humedad necesaria para su desarrollo.

El agua pesada en los campos sigue siendo un método de riego común en la actualidad, pero también se utilizan otros métodos más competentes y mecanizados. En la producción de cultivos se utiliza sobre todo en zonas secas y en períodos de escasez de lluvias, pero también para proteger las plantas contra las heladas [8].

El sistema de riego real generalmente se logra mediante aspersores que usan boquillas rociadoras para arrojar agua sobre un área relativamente verde; sistemas de goteo que utilizan varias boquillas de goteo montadas en una tubería para cubrir un área verde; o goteros individuales, que usan boquillas individuales para llevar agua a una sola maceta o cesta colgante. Sin embargo, podemos contar muchas atribuciones que pueden ser útiles para determinar los tipos de sistemas de riego utilizados, tales como [5]:

- El tamaño de la zona verde que hay que regar.
- Diferencias en la estructura y textura del suelo.
- Disponibilidad de mano de obra.
- Variación de la topografía del suelo.
- Disponibilidad de agua y las fuentes de agua.
- Accesibilidad de las fuentes de energía
- Capacidad de almacenamiento de agua en el rancho.

Por el contrario, la agricultura que depende únicamente de la lluvia directa a veces se denomina agricultura de secano o agricultura de secano. A menudo se estudia junto

con el drenaje, que es la extracción natural o artificial de agua superficial y subterránea de un área determinada [9]. El riego eficaz influirá en todo el proceso de crecimiento, desde la preparación del semillero, la germinación, el crecimiento de las raíces, la utilización de nutrientes, el crecimiento y regeneración de las plantas, el rendimiento y la calidad. La clave para maximizar los esfuerzos de riego es la uniformidad [10].

1.4.2. Beneficios de los sistemas de riego

Cualquier sistema de riego debe ser amigable con las operaciones culturales asociadas con una cosecha específica. En presencia, podemos contar varios beneficios correlacionados con la instalación de un sistema de riego en nuestras áreas verdes. El sistema de riego operativo asegura que los árboles y arbustos se establecerán más rápidamente y el crecimiento será más rápido, dando una apariencia madura en un tiempo mucho más corto. Un edificio moderno y prestigioso con césped marrón a su alrededor no parece de muy alta calidad. Las numerosas plantas en un área pequeña pueden luchar con éxito dentro del suelo para usar el agua disponible. Esta oposición de agua puede ser dura [11].

1.4.3. Nivel de tecnificación e innovación en los sistemas riego en el Ecuador

1.4.3.1. Riego superficial o por gravedad.

Esto es el 78% de las áreas irrigadas del país según datos del IV Censo Nacional Agropecuario. Las técnicas de riego han mejorado en las regiones andinas para el riego de hortalizas, raíces y tubérculos, aprovechando la ubicación de las laderas y fuentes de agua que conducen a cada parcela de tierra a través del riego por zanjas. En el 90% de los casos, existe un problema de escasez severa de agua [12].

El principal problema es el uso ineficiente del agua para riego. Las malas prácticas de riego utilizadas por los agricultores conducen a la sobreexplotación de los recursos hídricos ya la degradación excesiva de los recursos del suelo [13]. La falta de agua en los canales y tuberías del sistema de distribución antes de que llegue a los cultivos es un problema ya que hay una reducción importante en el flujo de agua [14].

La eficacia del riego se mide por la cantidad de agua realmente utilizada por las plantas

y la cantidad de agua extraída de un afluente. Una parte importante del volumen total extraído del efectivo no es utilizado por los cultivos [15].

1.4.3.2.Riego tecnificado.

Cubre el 22% de la superficie regada según el III Censo Nacional Agropecuario, apenas el 5% en riego comunitario, privado y estatal. Aunque el riego a presión en la región sierra no requiere un sistema de bombeo y puede cubrir grandes áreas, está limitado por la fragmentación excesiva de la tierra [12]. Es adecuado invertir en nuevas tecnologías de riego para eliminar las prácticas no recomendables de agricultura nacional.

El riego tecnificado está prohibido desde el punto de vista de la gestión del agua, está presente sólo en las empresas agroexportadoras. Hay pocas instalaciones en los sistemas de riego comunitarios y estatales. El riego por aspersión y el riego local se han desarrollado especialmente en la región litoral para cultivos de exportación, sin embargo, también existen fincas tecnificadas para cultivos de exportación en la sierra. El riego por aspersión es aún limitado en su desarrollo y está destinado a cultivos intensivos como la papa, babaco, uvillas, fresas y algunos frutales [16].

1.4.3.3.Optimización del recurso hídrico

Hoy en día la conciencia sobre la conservación de los recursos hídricos ha aumentado mucho en nuestra sociedad. Existe una mayor conciencia de que la disponibilidad de agua en determinadas épocas del año es muy escasa, lo que hace que su uso continuo e indefinido no sea posible. Esto incluye análisis para regular el uso del agua en función de la disponibilidad actual. Debemos conservar el agua y encontrar maneras de utilizarla con moderación mediante el desarrollo de formas de mejorar su gestión [17].

1.4.3.4.Riego por Aspersión

Este método de riego consiste en la aplicación de recursos hídricos en forma de lluvias más o menos rápidas y uniformes sobre la parcela para que el agua pueda infiltrarse en el mismo lugar donde cae.

En el método por aspersión el agua destinada al riego se hace llegar a las plantas por medio de tuberías y mediante unos pulverizadores llamados aspersores y, gracias a una presión determinada, el agua se eleva para que luego caiga pulverizada o en forma de gotas sobre la superficie que se desea regar. En esta modalidad de riego no se requiere mojado previo de la parcela, dada la simultaneidad en la aplicación de agua en el primero y el último aspersor sobre el lateral [8].

Los sistemas de riego por aspersión convencionales se pueden clasificar según el tipo de red de tuberías [18]:

- Sistemas portátiles.
- Sistemas Semiportátiles.
- Sistemas fijos.

1.4.3.5.Sistemas Portátiles

Se caracterizan porque las tuberías y la unidad de bombeo, se pueden mover dentro del área a regar, es decir, todos sus componentes se transportan de un sitio a otro. Los más comunes son los siguientes [2]:

- Los Cañones. - Son grandes aspersores, de construcción robusta, para soportar el caudal y la presión. Funcionan de forma sectorial, abarcan de 200° a 220°. Pueden ser:
 - De brazo oscilante
 - Tardan 2 a 5 minutos por revolución.
 - Regresan rápidamente a su posición inicial. Algunos giran a la igual velocidad en ambos sentidos, utilizando dos brazos alternativos.
 - De turbina
 - Giran a igual velocidad en ambos sentidos.
 - El chorro principal incide en una pequeña turbina que transmite su giro al aspersor por medio de un mecanismo de cremallera y piñón.
 - La reversibilidad del giro se produce porque se hace oscilar la turbina y el chorro incide originando el giro en sentido contrario.
 - Se emplea cada vez menos.

1.4.3.6.Sistemas Semiportatiles

Se caracterizan porque las tuberías laterales son móviles y portátiles, mientras que la unidad de bombeo permanece en un sitio determinado; las tuberías principales y secundarias pueden ser móviles o no [19].

- El pivote Central: recibe su nombre por su comportamiento circular alrededor de un punto central, sobre el que pivota. Es uno de los sistemas más eficiente para regar y para inyectar fertilizantes líquidos. Su capacidad para regar tanto en terrenos ondulados como llanos convierte el pivote central en el sistema más significativo en la agricultura, desde la invención del tractor.

1.4.3.7.Sistemas Fijos

Los sistemas fijos se caracterizan porque tanto la unidad de bombeo como las tuberías (Laterales, Principales y Secundarias) están localizadas en los sitios determinados por el diseño [20].

1.4.4. Componentes de un Sistema de Riego por Aspersión

Un sistema de riego por aspersión se compone de las siguientes partes [11]:

- Fuente de Energía: Para operar un sistema de aspersión se necesita una fuente de energía que garantice la presión necesaria para mover los aspersores. Generalmente se utilizan bombas movidas por un motor (Motobombas), como también la diferencia de nivel que puede existir entre la fuente de agua y el área a regar, con el fin de obtener la energía necesaria para operar el sistema.
- Tuberías: es la encargada de entregar el agua a los aspersores es conocida como lateral o ramal de aspersión, la cual debe garantizar una aplicación lo más uniforme posible a lo largo de él.
- Accesorios: En un sistema de riego por aspersión se pueden necesitar una serie de elementos que facilitan las derivaciones, conexiones, reducciones, control de presión, entre otros. Dentro de los accesorios se encuentran los codos, tes, reducciones, válvulas, crucetas, entre otros.
- Elevadores: son tubos rectos que conectan la tubería lateral y el aspersor. Se

utiliza para romper la turbulencia que se presenta cuando el agua pasa de la tubería (Lateral) al aspersor. Esta se presenta porque hay un cambio brusco en la dirección del agua. Si la turbulencia no es disipada se puede presentar un rompimiento del chorro del agua en el aspersor, lo que ocasiona que el alcance del mismo se disminuya.

Para determinar la longitud mínima del elevador según el caudal, se aplica la siguiente tabla:

Tabla 1. Determinación del elevador según el caudal de agua [7].

Caudal (Lts/s)	Altura Mínima Elevador (Mts)
Menor de 0.63	0.15
0.63 – 1.57	0.23
1.57 – 3.15	0.31
3.15 – 7.60	0.46
Mayor de 7.60	0.92

Aspersores: Son los responsables de entregar o rociar el agua en el área a servir. Se pueden clasificar de acuerdo con la presión de trabajo. Pueden llevar una o dos boquillas cuyos chorros forman ángulos de 25° a 28° con la horizontal para tener un buen alcance y que el viento no los distorsione en exceso [19].



Figura 1. Aspersor de impacto [21].

1.4.5. Condiciones que favorecen la instalación del método





El riego por aspersión se emplea en una gran diversidad de cultivos y condiciones naturales y en determinados casos compite incluso con ventaja con el riego de superficie, en las condiciones que hacen aconsejable este método. Sin embargo, es insustituible en las siguientes condiciones [6]:

- Terreno de topografía irregular, ondulados y de pendiente fuerte, en cuyo caso la conducción del agua por tuberías, resuelve los inconvenientes del trazado de acequias en terrenos irregulares.
- Suelos pocos profundos en los cuales no pueden realizarse trabajos de nivelación y deben aplicarse reducidas láminas de agua en cada riego. También en los suelos de alta velocidad de filtración con grandes pérdidas por percolación de agua en la cabecera.
- Suelos de alta heredabilidad, donde el escurrimiento de agua en superficie puede acarrear efectos perjudiciales para su conversión.
- Disponibilidad de agua en caudales pequeños y largos horarios de riego, ya que un diseño económico se logra con un equipo que permanezca en actividad durante un elevado número de horas al año.
- Se puede instalar en buenas condiciones, cuando la fuente de provisión de agua depende del propietario; tal es el caso de la utilización de aguas subterráneas o de manantiales propios, o de los predios donde resulta factible regular el caudal recibido mediante embalses.
- Este método se presta para cultivos sembrados, tales como forrajeras y cereales y cultivos hortícolas. No es factible en cultivos permanentes como la caña de azúcar y frutales por el patrón de humedecimiento del suelo en algunos casos; y por la altura y características del cultivo que dificultan notablemente los trabajos de movimiento de las tuberías en otras.
- La eficiencia que se logra regando por aspersión es alta en relación a los sistemas de riego por superficie. Además, no se requieren mayores habilidades por parte del regante de su utilización eficiente.

1.4.6. Tipo de Aspersores

Tabla 2. Tipo de aspersores en el mercado actual

Tipo	Descripción	
<p>Root Zone Sistemas de riego radicular</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de riego de raíces de árboles. • Aplicación residencial/comercial para riego de arbustos y árboles. • Caudal 1 l/min o 2 l/min 	
<p>Micro aspersores</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Cuando se necesita un riego más preciso en plantas individuales o grupos de plantas. • Aplicaciones agrícolas, residenciales y comerciales, donde se requiere una aplicación de agua muy específica. • Bajo caudal: 20 - 40 l/h, utilizados en plantaciones densas de hortícolas en invernadero, en viveros y en semilleros. • Mediano caudal: 50 a 80 l/h. • Alto caudal: 100 - 240 l/h, utilizados en plantaciones de hortícolas en invernadero y árboles 	
<p>Burbujeadores</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Recomendable para árboles, con volúmenes más altos de Agua. • Aplicación residencial y comercial. • Caudal 1,9 l/m a 22 l/m 	

<p>Riego para Green Roof</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Algo de los más nuevo, comúnmente utilizados en la construcción de jardines en terrazas ya sea residencial como en edificios. • Aplicación residencial y comercial, solución de alta eficiencia para techos verdes. 	
<p>Rociadores</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Recomendados para pequeñas áreas con jardín, los alcances van desde los 60 cm, hasta los 5.10 metros. • Aplicación residencial y comercial, utilizados comúnmente en áreas pequeñas residenciales, comerciales y frecuentemente utilizados en camellones. 	
<p>Rotores de medio alcance</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Rotores de medio alcance van desde los 6 metros de radio hasta los 28 m de radio y regularmente son ajustables en sus radios de riego. • Aplicación Residencial, Comercial y Deportivo, una variedad amplia de alcances y regularmente ajustables en Arcos desde 0° hasta 360°, emergentes en 4" y 6". La gran mayoría de los modelos pueden operar con Aguas Tratadas. • Utiliza una presión de 25 a 50 psi 	
<p>Rotores de Largo alcance</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Recomendado en mantenimiento de pasto sintético, muchas veces este tipo de superficies guardan muchos microbios que representan un riesgo importante de salud, y es recomendable cada periodo de tiempo aplicar agua para mantener en niveles aceptables de limpieza. • Los rangos de estos Rotores van desde los 30 hasta los 48 m. 	

	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliza una presión mayor de 50 psi. 	
--	--	--

1.4.7. Cultivo de papas en el país

Se proponen incentivar la producción, comercialización y consumo de papa en el país. Este tubérculo cuenta con una superficie sembrada de 50 mil hectáreas, de donde se producen 300 mil toneladas repartidas en la alimentación de cada familia. En el país, cada persona consume un promedio de 30 Kg de papa al año [22].

La papa es el segundo cultivo más representativo de la región andina del país después del maíz. Por ello, existen en el Ecuador 80.000 productores que se encargan de producir este alimento en las mejores condiciones para su distribución y venta [23].

Para que la papa llegue a las mesas de las familias ecuatorianas, debe seguir un proceso de producción óptimo. Dado que la papa es sensible a la pérdida de agua, no debe utilizar más del 30 al 35% del agua total disponible, especialmente durante la formación y desarrollo de los tubérculos. La intensidad del consumo de agua aumenta significativamente hasta los 42 días después de la siembra, pero cambia levemente y vuelve a disminuir después de los 84 días, paralelamente a la interacción en el consumo de agua, la intensidad de la respiración varía. El efecto de la escasez de agua acelera el envejecimiento del cultivo y la reducción del número de tallos en el primer ciclo vegetativo. En efecto la pérdida de agua utilizable en el suelo reduce los rendimientos, además estimula la respiración y acelera el envejecimiento del cultivo [24].

Los estudios de campo han identificado al menos dos períodos críticos de agua en el cultivo de la papa: inmediatamente después de la emergencia y durante la formación del tubérculo.

Los cultivos que no padecen escasez de agua producen unas 6 t/ha de tubérculos por cada 25 mm de agua utilizada por la planta, por lo que si se aplican 100 mm la respuesta del riego debe ser de 20 t/ha, durante la aplicación suponiendo una pérdida del 15%. Con un riego adecuado, la planta da unas 0,2 t/ha/mm de agua, lo que la hace muy rentable. En toda la literatura consultada se ha reconocido la necesidad de un manejo cuidadoso del riego, ya que el cultivo de papa es sensible al déficit y exceso de agua

durante el ciclo, lo que afecta el rendimiento y la calidad del tubérculo [25].

1.4.7.1.Etapas fenológicas de la papa

Las etapas fenológicas de la papa se consideran a las siguientes:

a) Dormancia o reposo de la semilla: Es el periodo que transcurre entre la cosecha del tubérculo y la brotación, dura entre 2 a 3 meses, y para la semilla sexual de 4 a 6 meses. La dormancia puede pararse por heridas o alguna enfermedad en el tubérculo, también, puede inducirse por tratamiento químico utilizando el ácido giberélico en dosis de 1 a 5 ppm.

b) Fase de emergencia: Inicia con el rompimiento de la dormancia de la semilla y termina con el inicio de la formación de tubérculos; varía de 15 a 30 días, dependiendo de las condiciones climáticas y edáficas del cultivo.

c) Fase vegetativa: Es el período entre la emergencia y la iniciación de la tuberización. En esta fase, hay crecimiento de follaje y raíces en forma simultánea, dura entre 20 a 30 días.

d) Fase de tuberización: Se caracteriza por la iniciación en la formación del tubérculo y el incremento constante en tamaño y peso, puede durar entre 60 a 90 días. Su inicio podría ser retardado por algunas prácticas agronómicas, como, por ejemplo, una alta fertilización nitrogenada. El crecimiento del tubérculo depende de la humedad, la longitud del día y la temperatura. La humedad del suelo influye en el tamaño y la calidad de las papas y puede retrasarse en su desarrollo en condiciones de estrés hídrico.

e) Fase de madurez: Período entre el máximo desarrollo del follaje y la senescencia total. Los tubérculos alcanzan la madurez fisiológica a los 75 días en variedades precoces, 90 días para variedades intermedias y 120 días para las tardías. En esta etapa los tubérculos pueden cosecharse y almacenarse.

1.4.7.2.Requerimientos climáticos y edáficos del cultivo de la papa

Cuando se desea cultivar papas es necesario conocer sobre los requerimientos

climáticos y edáficos que necesita las plantas para su desarrollo, estos requerimientos son los siguientes:

a) Temperatura: Requiere clima frío o fresco para su producción; las temperaturas óptimas para su desarrollo y tuberización se encuentran entre los 15 y los 25 °C. La planta papa es termo periódica, necesita una variación de 10 °C entre la temperatura diurna y la nocturna, si la variación es menor, la planta no crece bien y el rendimiento se reduce.

b) Altitud. El cultivo se adapta bien a alturas comprendidas entre 1000 a 2400 m.s.n.m. En el país, una parte importante de la producción de papa se produce en el subpáramo, actual existe un desplazamiento del cultivo hacia el páramo, con el consiguiente deterioro ambiental y el riesgo de pérdida del cultivo por heladas.

c) Vientos. Los vientos deben ser moderados, debido a que la planta de papa no resiste vientos con velocidades mayores a 20 km/h, porque causan daño y pérdidas en la producción.

d) Luz. Cuanto mayor es la intensidad de luz mayor es la fotosíntesis, esta intensidad depende del ángulo de incidencia de los rayos y de la nubosidad del cielo. La cantidad de luz que recibe la planta tiene gran influencia en la tuberización y la duración del crecimiento vegetativo. La luminosidad influye en los carbohidratos de los tubérculos, siendo mayor su contenido, cuando se tiene alta luminosidad, unos 60 000 lux, valor que alcanza al medio día y en cielo despejado.

e) Precipitación: Los requerimientos de agua en el cultivo varían entre 600 a 1000 milímetros por ciclo de producción, la demanda va a depender de las condiciones de temperatura, capacidad de almacenamiento del suelo y de la variedad de papa. Las mayores demandas de agua son: en las etapas de germinación y crecimiento de los tubérculos, por lo que es necesario efectuar algunos riegos en los períodos más críticos del cultivo, cuando no se presenta precipitación.

f) Pendiente del terreno. La pendiente del terreno afecta la retención de agua de lluvia o de riego; a medida que aumenta el grado de pendiente, la velocidad y el volumen de

agua de escorrentía crece, produciendo erosión al suelo. Una manera de manejar es mediante terrazas, se aplica en laderas con pendientes del 4 al 60%, se caracteriza por la construcción de plataformas continuas escalonadas en los cerros y superficies inclinadas de las quebradas.

g) Suelo: La planta de papa puede crecer en la mayoría de los suelos, los mejores son los francos, franco-arenosos, franco-limosos y franco-arcillosos, con buen drenaje y ventilación. El cultivo se desarrolla en forma adecuada en un rango de pH de 5.0 a 7.0. Es recomendable tener suelos con materia orgánica mayor a 3.5 %, una densidad aparente de 1.20 g/cm³ y una conductividad eléctrica menor a 4 dS/m.

h) Riego: El manejo adecuado del riego es uno de los factores más importantes que influye en el rendimiento del cultivo, tanto en cantidad como calidad, debido a que, el 85 al 95% del tubérculo es agua. La papa no tolera sequía y no debe faltarle humedad, especialmente desde la formación de tubérculos hasta floración. De manera general se debe aplicar un riego de presembrado, y ya establecido el cultivo, se proporciona 5 a 6 riegos con intervalos de 15 a 20 días, según sea la necesidad de la planta.

1.4.8. Fluidodinámica computacional

La fluidodinámica se ha convertido en una parte integral de los entornos de análisis y diseño de ingeniería de muchas empresas que necesitan poder predecir el comportamiento de nuevos diseños o procesos antes de que puedan construirse o implementarse. Se define como el conjunto de metodologías que permiten a una computadora proporcionar una simulación numérica del flujo de un fluido; Las simulaciones de dinámica de fluidos computacional permiten comparar el diseño con diseños a gran escala y, por lo tanto, permiten evaluar los proyectos sin una inversión financiera significativa antes de la creación de prototipos [26].

Un aumento en el poder de cómputo de las computadoras, así como una caída en su precio, permitió el avance de los CFD, en los que se resuelven las ecuaciones de Navier-Stokes bajo el dominio estudiado. Estas ecuaciones gobiernan el movimiento de los fluidos y fueron descubiertas juntas hace 150 años por el ingeniero francés Claude Navier y el matemático irlandés George Stokes. Se derivan de las leyes de

movimiento de Newton y son iguales para todos los flujos. Su resolución permite conocer la velocidad y presión del fluido en cualquier punto del espacio, y por tanto su comportamiento. La especificidad de los casos específicos se define por las llamadas condiciones de contorno y los valores iniciales dados. Estas ecuaciones son tan complejas que su solución analítica solo es posible en casos muy básicos, por lo que es necesario diseñar software avanzado para procesar y resolver estos datos [27].

Hoy en día, este método se ha convertido en una tecnología viable para el desarrollo de productos. La variedad de software basado en esta tecnología ha aumentado y cada vez son más prácticos y tienen muchas ventajas.

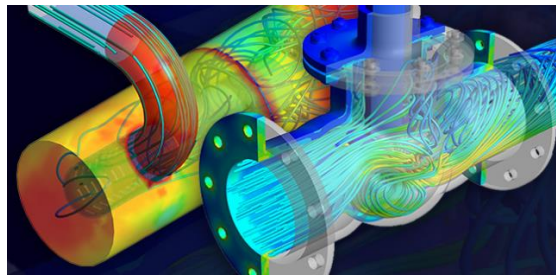


Figura 2. Análisis CFD [28].

1.4.8.1. Metodología CFD

El método CFD ayuda a sustituir la complejidad al analizar el comportamiento de un fluido que se mueve a través de una geometría predeterminada, teniendo en cuenta varios parámetros del fluido como temperatura, turbulencia, velocidad, presión, tipo de fluido, viscosidad, etc. CFD puede ordenar y mostrar los resultados en gráficos o tablas, lo que permite al diseñador tomar decisiones de selección entre múltiples modelos, ahorrando tiempo y costos en la construcción física de un prototipo [29].

La metodología utilizada para resolver casos con técnicas CFD está dada por el diseño principal del sistema, ubicación u objeto, luego el conocimiento de sus condiciones de contorno o límites determina las restricciones para que el programa pueda ser resuelto, luego realizar mallas adecuadas, las cuales, en virtud de su finura, permite obtener resultados más precisos; Finalmente, el software calcula y muestra gráficamente el comportamiento del sistema para un propósito que el diseñador puede evaluar y calificar de acuerdo a sus necesidades [30].

1.4.8.2. Método de volúmenes finitos (FVM)

El método de volumen finito es muy utilizado en mecánica de fluidos, meteorología, electromagnetismo, simulación de dispositivos semiconductores y muchos otros campos de la ingeniería que requieren análisis numéricos a gran escala cuya resolución sería muy compleja debido a su magnitud. Aquí es donde este método entra en juego a nivel de ingeniería, ya que facilita el rediseño de cualquier prototipo y permite un diseño eficiente para ahorrar tiempo y dinero [10].

En el siguiente gráfico se puede observar la representación de un volumen de control dentro de un dominio; en definitiva, el método de volúmenes finitos es el encargado de discretizar cada uno de estos volúmenes resolviendo una ecuación que gobierna el tiempo, la advección, difusión y fuente haciendo posible una solución lógica.

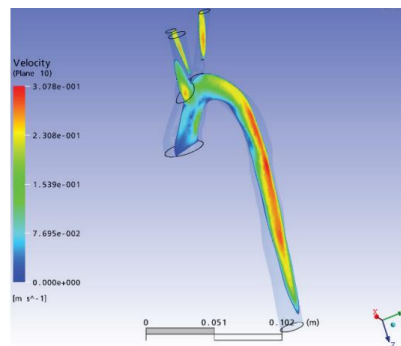


Figura 3. Fluido volumen de control en un dominio [1].

1.4.8.3. Modelos de turbulencia

La turbulencia ha sido desde hace mucho tiempo un tema de interés por parte de estudiosos en el tema del flujo de fluidos, por ello se han desarrollado varios modelos de turbulencia los cuales facilitan la predicción numérica del flujo turbulento para de una u otra manera controlar este fenómeno y lograr una estabilidad en el sistema se presenta los modelos de turbulencia [31].

- El modelo RANS (ecuación de Navier-Stokes promediada de Reynolds) se basa en calcular el promedio de las ecuaciones de fluidos, para lo cual todas las cantidades se reemplazan por la suma de su valor promedio y un componente fluctuante. Después de calcular el promedio, obtenemos términos

adicionales que requieren la suma de otras ecuaciones para cerrar el sistema. Hay dos variaciones principales del promedio: el promedio de Reynolds y el promedio de Favre. Este último utiliza el volumen medio por unidad de masa [32].

- El modelo LES se basa en un filtrado espacial de las ecuaciones gobernantes de los fluidos, mediante el cual se resuelven computando escalas grandes, mientras que para escalas pequeñas se asume un modelo que permite considerar de manera aproximada su efecto en el global. variación de los parámetros de flujo [31].
- El modelo DAM (Double-Averaging Methodology), también conocido como DANS (Double Averaging Navier Stokes) por ser una modificación o adaptación del modelo RANS, tiene como objetivo medir el comportamiento del fluido en un sistema para mejorar el diseño. Estimando y promediando dos veces. de experimentos [32].

La evaluación doble mejora significativamente la escala entre los parámetros de flujo y rugosidad; La fuerza de arrastre también es más fácil de estimar y las variables se pueden aumentar más fácilmente y las definiciones de los parámetros hidráulicos son mejores.

1.4.9. Diseño agronómico

El diseño agronómico es el primer paso para determinar cualquier tipo de riego, ya sea por goteo o por aspersión, y es donde se determina la cantidad de agua a la planta en base al tipo de suelo, las precipitaciones de la zona, entre otros factores.

Los cálculos son necesarios porque permiten conocer la cantidad de agua que debe transmitir el sistema y, en el caso del diseño de goteros o microaspersores, saber qué caudal aportará cada uno de ellos según los requerimientos específicos. debería hacer culturas [33].

1.4.10. Diseño hidráulico

El diseño hidráulico tiene como objetivo definir las longitudes y diámetros de las distintas tuberías que componen los sistemas de riego, distribución y conducción según

un criterio adaptativo, analizando las pérdidas por diversos factores como accesorios, acoplamientos, filtros, longitud de tubería, etc. [34]

El objetivo de estos cálculos es determinar la presión a la que está sometido el sistema y en base a este dato plantear nuevos diseños de goteros o aspersores para riego.

1.4.10.1. Principio de Bernoulli

El fundador de este teorema fue Daniel Bernoulli, un matemático que realizó significativos descubrimientos en el área de la hidrodinámica. En el siglo XVIII publicó un estudio práctico y teórico sobre la presión, el equilibrio y la velocidad de los fluidos. Demostró que a medida que aumenta la velocidad de flujo de un fluido, su presión disminuye, lo que se conoce como el teorema de Bernoulli [34].

1.4.10.2. Ecuación de Bernoulli

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

Dónde:

$$\frac{P}{\gamma}: \text{Carga de presión}$$

z : Carga de elevación

$$\frac{V^2}{2g}: \text{Carga de velocidad}$$

Cada término en la ecuación de Bernoulli es una forma de energía contenida por el fluido por unidad de masa del fluido que se mueve en el sistema. La ecuación de Bernoulli es una relación aproximada entre la presión, la velocidad y la sustentación, y es válida en regiones de flujo constante e incompresible donde las fuerzas de fricción netas son insignificantes [34].

CAPÍTULO II METODOLOGÍA

Para la continuidad de la investigación es indispensable la identificación de los materiales y métodos que se utilizaron en el presente proyecto.

2.1. Materiales

Estos son medios físicos y digitales que se utilizaron para el estudio experimental, creación de prototipos y análisis de datos.

Tabla 3. Recursos y materiales asignados

Denominación	Detalle
Ordenador	Se utilizó como medio físico para el desarrollo del trabajo experimental un ordenador, el cual es una herramienta fundamental, ya que contiene diversos softwares.
Impresora 3D de resina	Para la fabricación de prototipo se usó una impresora 3D debido a la disponibilidad que brinda y a sus bajos costos de impresión.
Resina Tough 2000	El material utilizado para el prototipo de aspersor se consideró una resina plástica acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), tiene una buena estabilidad química, alta rigidez y dureza, buena resistencia mecánica.
Software de diseño CAD	Se utilizó en el desarrollo del prototipo de aspersor y sus elementos.
Software de Simulación	En este caso, el programa que utilizó es el ANSYS ACADEMIC con su herramienta Computational Fluid Dynamics (CFD), que tiene una gran flexibilidad, gran precisión y un amplio campo de aplicación; Además, ayudó a optimizar el diseño de aplicaciones y resolver problemas complejos.
Material de Oficina	Elementos donde se pudo tomar apuntes, escribir, imprimir: hojas, cuadernos, bloc de notas, agenda, calendario, etc.
Calibrador	Elemento que permitió tomar medidas de los aspersores para trasladar las medidas al CAD.
Tubería y accesorios	Los elementos que permitieron establecer un banco de pruebas para evaluar los microaspersores.

Denominación	Detalle
Sistema de riego	La configuración de un sistema de riego ideal que se implementó para un cultivo de papas.
Manómetro	Una herramienta que permitió medir la presión del sistema de riego.
Máquina de tracción SHIMADZU	Se utilizó para realizar los ensayos de tracción de las probetas de la resina Tough 2000 bajo la normativa ASTM D638.

2.2. Métodos

2.2.1. Nivel o tipo de investigación

Bibliográfico

En la presente investigación se revisó diversos referentes bibliográficos como: libros, trabajos de titulación, sitios web de relevancia científica, fichas técnicas para conocer los parámetros de funcionamiento de aspersores, así como sus niveles de presión y el material con el que está fabricado. El conocimiento de estos parámetros es importante para poder analizar el flujo a través de fluido dinámico computacional (CFD).

Experimental

Se inició con la toma de datos para la selección de aspersores y las características del terreno, con la ayuda del software ANSYS para proceder con la simulación, junto con la herramienta CFD para analizar la forma y comportamiento del fluido, los datos luego de la toma se procede a identificar áreas que se pueden rediseñar en el dispositivo para mejorar el rendimiento, remodelar los cambios y realizar múltiples simulaciones para obtener un modelo con mejor rendimiento, luego de eso se toman los datos. Luego de recibir el modelo adecuado, el dispositivo será planificado y enviado para impresión 3D, luego de lo cual se realizarán las pruebas pertinentes y luego se implementará en el área de estudio.

El trabajo concurre en ser experimental al tener que simular, tomar datos y rediseñar hasta encontrar el modelo adecuado que cumpla con los parámetros establecidos para dar el dispositivo como una alternativa para los cultivos de papas en la parroquia Tanicuchi.

Modelación

Para el análisis del flujo de agua en un dispositivo mecánico de generación de flujo por aspersión a presión, se utilizó un modelado de volúmenes finitos con la ayuda de la dinámica de fluidos computacional (CFD) para simular el funcionamiento de este dispositivo.

Descriptivo

En el proceso final de la experimentación es importante describir claramente las dimensiones, materiales y demás recomendaciones de fabricación del equipo para que el software pueda tener un funcionamiento adecuado al analizado previamente. Para la fabricación habrá dos procesos, el primero será instalar la impresora 3D con las mejores especificaciones y un proveedor de materiales.

2.2.2. Metodología del proceso de diseño y simulación

El diseño del prototipo de aspersión de agua que se realizó en este estudio es cuando se tienen el caudal y presión necesaria para la distribución de agua en las diferentes etapas de crecimiento del cultivo de papas en la parroquia Tanicuchi, en la Figura 4 se detalla el proceso que se llevara a cabo para el diseño.

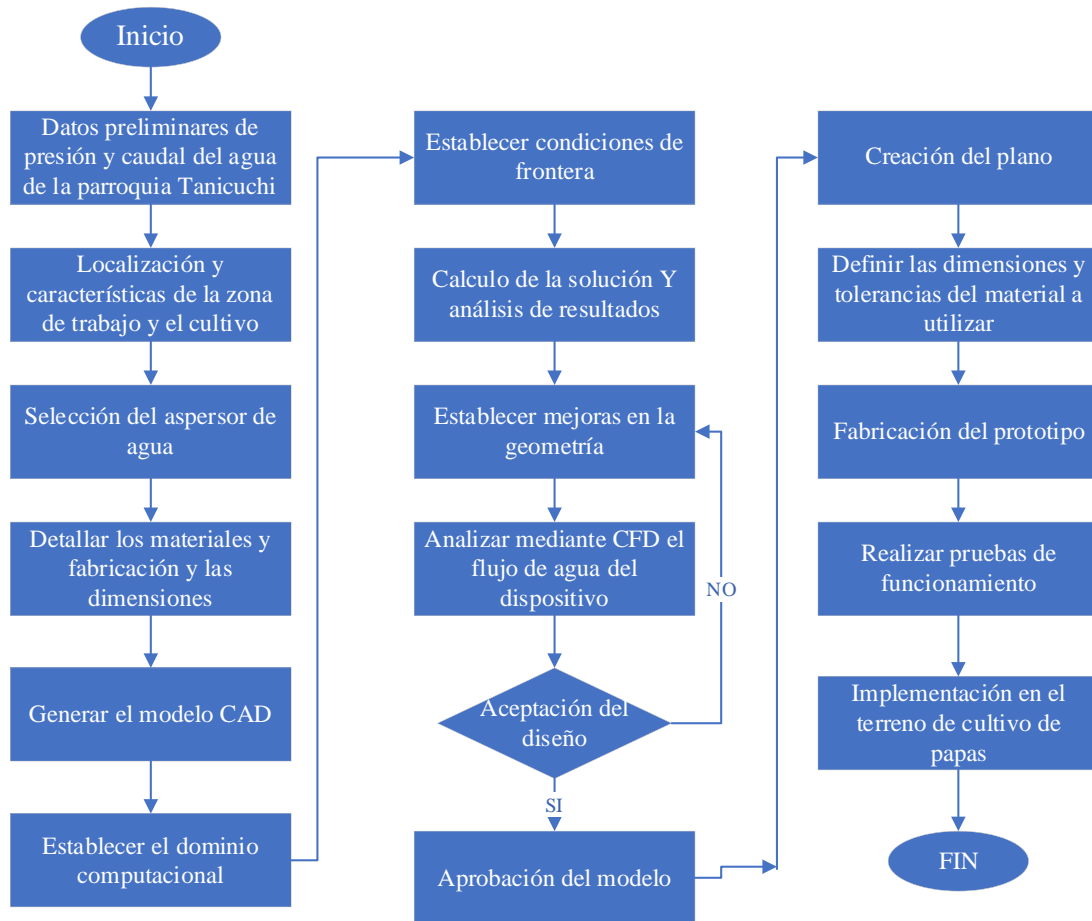


Figura 4. Plan de procesamiento y análisis

2.3. Recolección de datos

2.3.1. Localización geográfica del proyecto

La parroquia Tanicuchi perteneciente al Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi Ecuador, es considerada una zona rural la que está rodeada de grandes cadenas montañosas con precipitaciones por lo que el lugar es de clima frío. El clima se presenta durante todo el año con temperaturas bajas que oscilan entre los 12 y 22°C con un promedio de 17°C, en verano los vientos son fuertes y temperaturas bajas. Se caracteriza por sus grandes haciendas agrícolas y ganaderas [35].

Este proyecto se efectuó en la propiedad la familia Venegas-Quinatoa el cual se encuentra a una altitud de 3008 msnm ubicado en las coordenadas geográficas 0° 45'36.3" S y 78° 39' 38.7" W, las dimensiones del área de terreno es de 720m² en el

área del terreno se utiliza específicamente para el cultivo de hortalizas como las papas, tomate, habas, frejol entre otras.

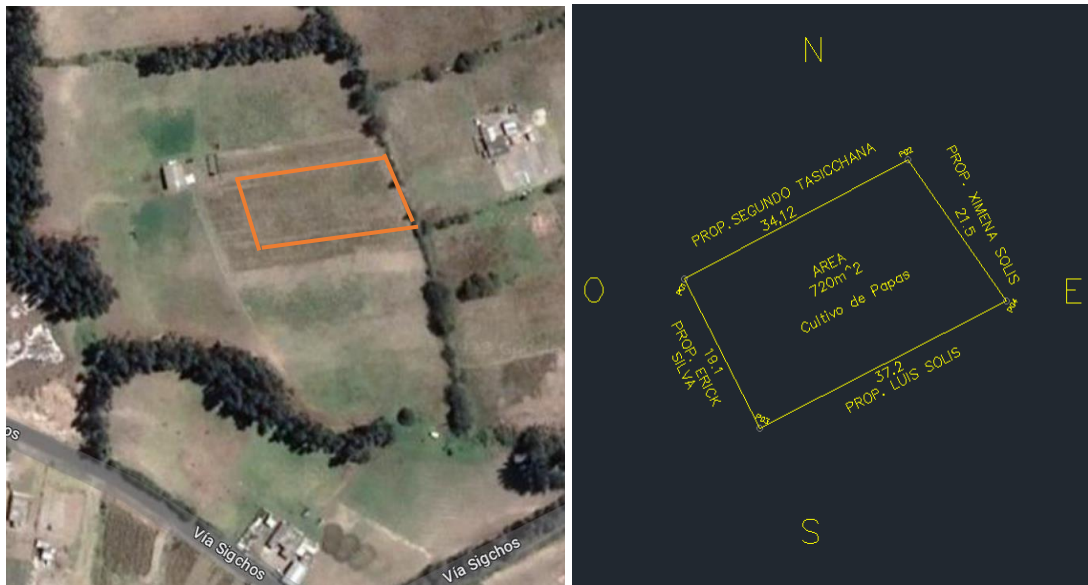



Figura 5. Área del terreno Tanicuchi

2.3.2. Datos microaspersor

Tabla 4. Selección de alternativas de diseño

Tipo	Características	Ventajas	Funcionamiento	Esquema
Micro aspersor 2005	Caudal: 138 a 179 lt/h Radio: 4.75 a 5.25 metros Diámetro: 9.50 a 10.50 metros Riego completo a 360° Presión de trabajo: 1.5 a 2.5 bar Boquilla: Negra	<ul style="list-style-type: none"> Bajo costo. Menor requerimiento de filtrado que en un sistema de goteo tradicional. Fácil instalación 	Utilizado para hortalizas y viveros. Se instalan cada 6 metros ya que posee espaciamientos de 6x6m	
Micro aspersor HidroLD	Caudal: 60 lt/h Radio: 1.75 metros Diámetro: 3.5 metros Riego completo a 360° Presión de trabajo: 1 - 2 bar	<ul style="list-style-type: none"> Resultando en una opción económica para el riego localizado. Fácil instalación Resultado de esto se tiene la opción más económica 	Utilizado para florícolas e invernaderos. Se instalan cada 4 Metros. Tiene buen tamaño de gota similar a la de la lluvia.	

Tipo	Características	Ventajas	Funcionamiento	Esquema
		para sistemas de riego localizado.		
Micro aspersor JET II	Presión de trabajo (psi): 3.5 a 30 Caudal (LPH): 6.44 a 18.73 Diámetro: 2.65 a 1.67	<ul style="list-style-type: none"> Por su bajo caudal permite reducir el costo de materiales y en la instalación del sistema. Menor requerimiento de filtrado, que un sistema de goteo tradicional. 	<p>Se instala directamente a la tubería por lo general cada 1m.</p> <p>Se utiliza en cultivos por hileras anchas.</p>	

2.4. Necesidades hídricas de la papa

2.4.1. Determinación del coeficiente del cultivo

El coeficiente del cultivo integra los efectos de las características que distinguen a un cultivo típico de campo se ha tomado la papa de referencia, el cual posee una distancia entre surcos de 90 cm y a una distancia entre plantas de 30 cm.

En la tabla 5 consta el valor del Kc para la papa dicho valor corresponde a 1,15 ya que la papa se lo considera un cultivo con bastantes necesidades hídricas.

Tabla 5. Determinación del coeficiente del cultivo

Cultivo	Ciclo de Cultivo					Factor de cultivo Kc			Kc Mensual																
	Total	Inicial	Desarrollo	Medio	Fin de temporada	Kc inicial	Kc media	Kc final	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	30	31			
	Maíz	180	29	65	43	43	0,30	1,20	0,60	0,30	1,20	1,20	1,20	0,60	0,60	0,30	1,20	1,20	1,20	0,60	0,60	0,30	1,20	1,20	0,60
Haba	181	33	49	66	33	0,30	1,10	0,30	0,30	1,10	1,10	1,10	1,10	0,30	0,30	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	0,30	0,30
Papa	184	29	35	90	30	0,50	1,15	0,75	0,50	1,15	1,15	1,15	1,15	0,75	0,50	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	0,75	0,75
Zanahoria	115	25	35	35	20	0,70	1,05	0,95	0,70	1,05	1,05	0,95	0,70	1,05	1,05	0,95	0,70	1,05	1,05	0,95	0,70	1,05	1,05	0,95	0,95

2.4.2. Determinación evapotranspiración del cultivo (ETc)

Multiplicando la evapotranspiración de referencia (ET_o), que solo depende de las condiciones climáticas, por el coeficiente de cultivo (Kc) se obtiene la evapotranspiración del cultivo (ET_c).

Para el cálculo se debe aplicar la ecuación Ec. 1 [24].

$$ETc = (ETo * Kc) - Pef/día$$

$$ETc = 0.66 \text{ mm/día} \text{ este valor corresponde al mes de enero}$$

Donde:

ETc = Evapotranspiración de cultivo (mm/día)

ETo = Evapotranspiración de referencia

Kc = Coeficiente de cultivo

Este cálculo se lo debe de realizar para cada mes.

Tabla 6. Resultados de evapotranspiración de Cultivo

Días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Pef	63,49	47,44	97,45	93,00	117,63	128,08	116,60	88,48	70,58	65,45	70,48	67,40
Eto (mm/día)	2,77	2,85	2,87	2,46	2,57	2,42	2,41	2,57	2,74	2,81	2,79	2,74
Pef/día	2,05	1,69	3,14	3,10	3,79	4,27	3,76	2,85	2,35	2,11	2,35	2,17
Cultivos	Etc Cédula Cultivos mm/día											
Maíz	-1,22	1,73	0,30	-0,15	-2,25	-2,82	-3,04	0,23	0,94	1,26	-0,68	-0,53
Haba	-1,22	1,44	0,01	-0,39	-0,97	-3,54	-3,04	-0,03	0,66	0,98	0,72	-1,35
Papa	-0,66	1,58	0,16	-0,27	-0,84	-2,45	-2,56	0,10	0,80	1,12	0,86	-0,12
Zanahoria	-0,11	1,30	-0,13	-0,76	-2,00	-1,73	-1,23	-0,41	-0,43	0,84	0,58	0,43

2.4.3. Determinación de la necesidad neta (Nn)

La necesidad de riego es el agua que se debe suministrar por el sistema de riego para asegurar que el cultivo reciba toda el agua que necesita. La necesidad neta de riego no incluye las pérdidas que se producen en el proceso de aplicación del agua. Se debe tener en cuenta que si la precipitación efectiva cumple con las necesidades de agua en los cultivos se debe de calcular con la ecuación.

$$Nn = ETc - Pe$$

$$Nn = 0.66 - 1.74$$

$$Nn = -1.08 \text{ mm/día}$$

Donde:

N_n = Necesidad neta (mm/día)

E_{Tc} = Evapotranspiración de cultivo

P_e = Precipitación efectiva

Este proceso se lo debe repetir para cada mes del año analizado.

2.4.4. Determinación de la necesidad total (Nt)

Las necesidades o las demandas totales del proyecto son la necesidad neta bajó un ajuste de la eficiencia del riego. Para el caso de riego por aspersión para las eficiencias a considerar es de 85 %.

Para la determinación de la necesidad total se toma el valor máximo los cultivos existentes en la comunidad, como el valor lo obtenemos en (mm/día) lo pasamos a (lt/s/ha) para así tener un valor más exacto. En la tabla 15 se determina que el valor de la necesidad hídrica es de (0.25 9l/s/día), una vez obtenido este dato podemos iniciar con nuestro diseño parcelario.

Tabla 7. Resultados de la necesidad total

CULTIVO	MES											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Maíz	-1,52	2,16	0,38	-0,19	-2,82	-3,52	-3,80	0,29	1,17	1,58	-0,84	-0,66
Haba	-1,52	1,80	0,02	-0,49	-1,21	-4,43	-3,80	-0,03	0,83	1,22	0,90	-1,69
Papa	-0,83	1,98	0,20	-0,34	-1,05	-3,07	-3,20	0,13	1,00	1,40	1,07	-0,15
Zanahoria	-0,14	1,62	-0,16	-0,95	-2,49	-2,16	-1,54	-0,52	-0,54	1,05	0,73	0,54
Pasto	0,90	1,44	-0,34	-0,80	-1,53	-2,31	-1,69	-0,36	0,48	0,87	0,55	0,71
Valor máximo (mm/día)	0,90	2,16	0,38	-0,19	-1,05	-2,16	-1,54	0,29	1,17	1,58	1,07	0,71
qfc (l/s/ha)	0,10	0,25	0,04	-0,02	-0,12	-0,25	-0,18	0,03	0,14	0,18	0,12	0,08

2.5. Diseño del sistema parcelario

La distribución de la red de tuberías dentro de la parcela se determinó con base en la topografía, la infraestructura existente y los límites. Así, para el diseño de la parcela se presenta un esquema en espiga, en el que se coloca la tubería de distribución en el

centro de la parcela, con distribución vertical a los laterales.

La figura 6 muestra el diseño del nivel de la parcela, la parcela tiene forma rectangular, el amarillo simboliza la tubería de 50 mm de diámetro, el verde simboliza 32 mm de diámetro. Cada espaciamiento de tubería indica un número máximo de bloques u operaciones por emisor. El límite del lote está dado por la línea negra oscura.

2.6. Concepción del sistema de riego

Los sistemas de riego basan su diseño en contribuir el reparto del agua equitativo, generando beneficios a los agricultores de la zona para abastecer de agua a los sembríos, para obtener el agua de riego se aporta mensualmente, aportes de mantenimiento, entre otras, durante su vida útil.

Bajo este concepto las captaciones, conducción de la tubería de aducción, redes de tubería principal, secundarias, cámaras rompe-presiones, válvulas de control, válvulas de aire, válvulas de alivio rápido, purgas, redes de riego por aspersión; constituyen los principales regadíos.

2.6.1. Conducción entubada desde el reservorio hasta el sistema de riego

Se ha diseñado una captación que se ubicará en el reservorio existente, esta estructura tiene un sistema de flotación y una manguera de succión que le permite captar el agua del reservorio al medio, evitando el ingreso de sedimentos y material flotante. Su capacidad de captación es de hasta 40 l/s que circula a través de la manguera de succión de 60 mm.

2.6.2. Volumen del reservorio

El volumen total del reservorio es de 252 m³ y servirá para almacenar el caudal concesionado y aforado durante la noche, por un tiempo de 12 horas. Este reservorio es de tipo nocturno y, por lo tanto, no considera el almacenamiento del agua en invierno para regar el módulo en la estación de verano.

2.7. Diseño hidráulico

2.7.1. Cálculo de presiones y pérdidas de energía

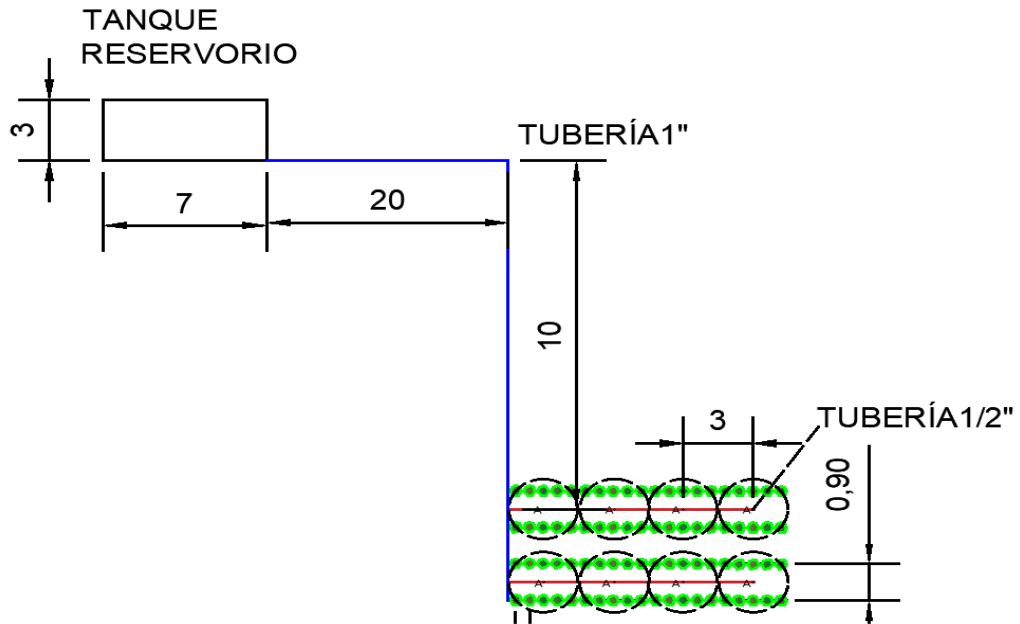


Figura 6. Esquema hidráulico

Para comenzar con el cálculo de presiones es necesario evaluar de forma experimental el caudal de la salida del tanque con una tubería de 60 mm de diámetro y que fluye a través de las tuberías de 2 pulgadas. Se usó un recipiente de 20 Litros de capacidad y con un cronómetro se determinó el tiempo de llenado; obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 8. Tiempos de muestreo de caudal en la salida del tanque y la tubería de 2''

Salida del tanque Tiempo (s)	
t1	11,29
t2	11,65
t3	11,02
Promedio	11,32
Tubería de 2'' Tiempo (s)	
t1	41,33
t2	41,78
t3	41,85
Promedio	41,65

Caudal en la salida del tanque de 60 mm de diámetro.

$$20lt = 0,02m^3$$

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$Q = \frac{0,02m^3}{11,32s}$$

$$Q_1 = 0,00176 m^3/s$$

Caudal en la tubería de 2 pulgadas

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$Q = \frac{0,02m^3}{11,32s}$$

$$Q_2 = 4,801 \times 10^{-4} m^3/s$$

De igual manera se calculó el caudal en la tubería de 1/2'' en la cual estarán instalados los micro aspersores.

Tabla 9. *Tiempos de muestreo en la tubería de 1/2''*

Tiempo (s)	
t1	49
t2	50
t3	51
Promedio	50

$$Q = \frac{0,02m^3}{50s}$$

$$Q_3 = 0,0004m^3/s$$

$$Q_3 = v1 * A1$$

$$v_1 = \frac{Q_1}{A_1}$$

$$v_1 = \frac{0.00176 \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{\pi * (0.060\text{m})^2}{4}}$$

$$v_1 = 0.624 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_2 = \frac{Q_2}{A_2}$$

$$v_2 = \frac{4.801 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{\pi * (0.0508\text{m})^2}{4}}$$

$$v_2 = 0.236 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_3 = \frac{Q_3}{A_3}$$

$$v_3 = \frac{4 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{\pi * (0.013\text{m})^2}{4}}$$

$$v_3 = 3.01 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

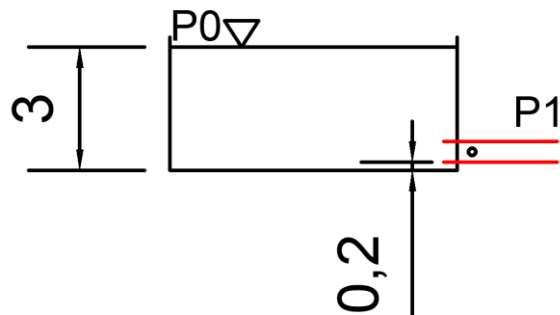


Figura 7. Esquema de presiones (tanque y tubería 2°)

$$\frac{P_0}{\gamma} + Z_0 + \frac{v_0^2}{2g} - hL = \frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g}$$

$$P1 = \gamma \left[(Z0 - Z1) - \frac{V1}{2g} - hL \right]$$

$$P1 = (9.81 \text{KN/m}^3) \left[(3 - 0.2) - \frac{0.624}{2 * 9.81 \text{m/s}^2} - hL \right]$$

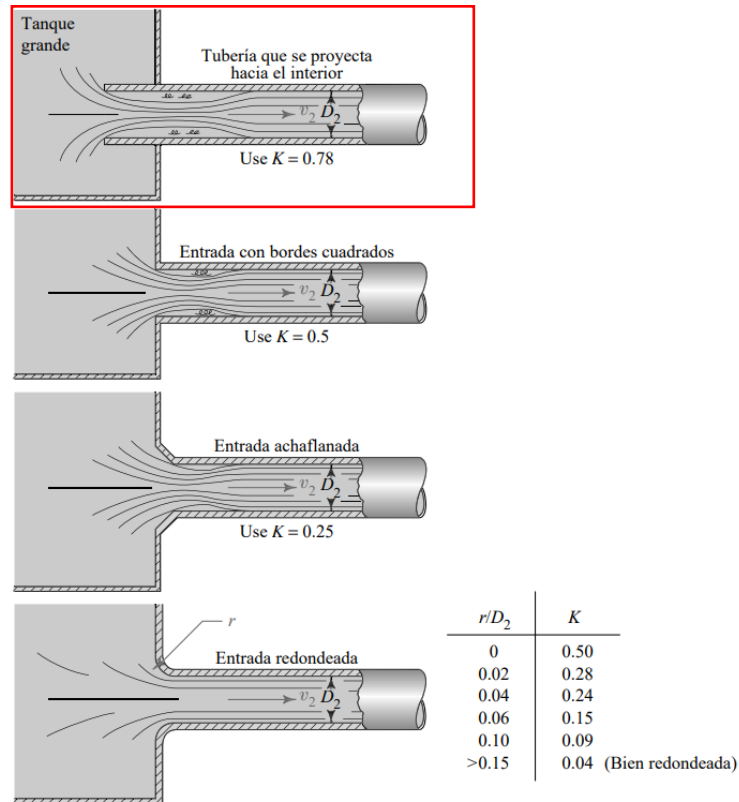


Figura 8. Coeficiente de Resistencia de Entrada [36].

Se toma el primer caso: Tubería que se proyecta hacia adentro con un valor de $k=0.78$

Por lo tanto:

$$hL = k * \frac{V_1^2}{2g}$$

$$hL = 0.78 * \frac{(0.624 \text{ m/s}^2)^2}{2 * 9.81 \text{m/s}^2}$$

$$hL = 0.02796 \text{m}$$

Retomando la ecuación de Bernoulli:

$$P_1 = (9.81 \text{KN/m}^3) \left[(3 - 0.2) - \frac{\left(\frac{0.624 \text{m}}{\text{s}^2}\right)^2}{2 * \frac{9.81 \text{m}}{\text{s}^2}} - 0.02796 \text{m} \right]$$

$$P_1 = 26.999 \text{ kPa}$$

La presión de salida del tanque es de 26,999 kPa.

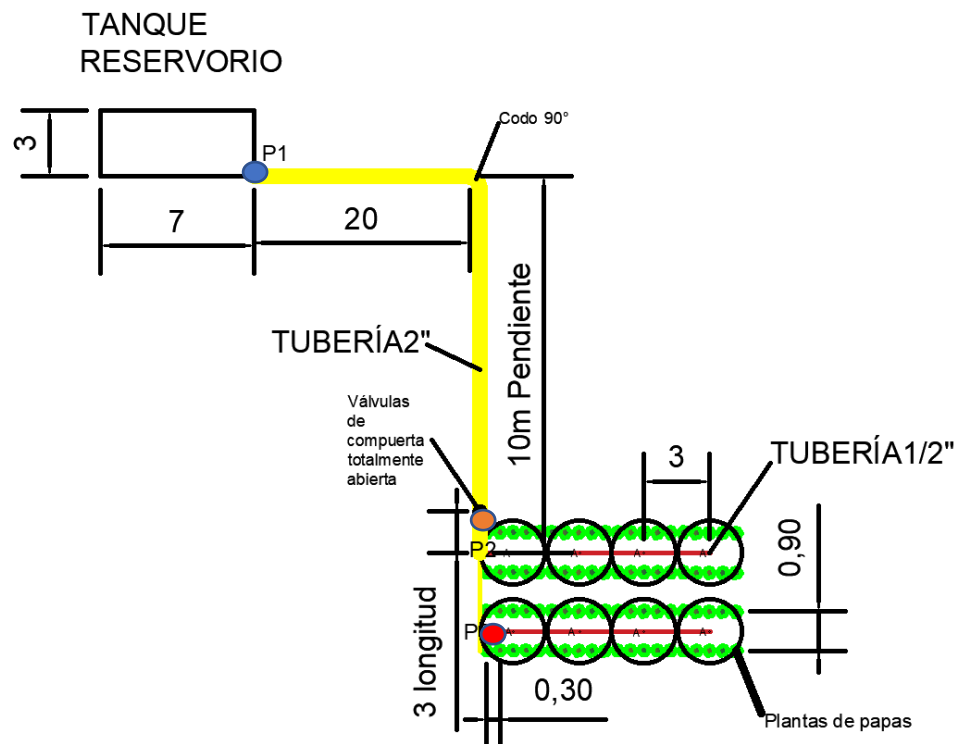


Figura 9. Esquema de los componentes de la tubería primaria.

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} - hL = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

Las pérdidas totales del sistema de riego para las papas son las siguiente:

$$hL_{total} = 2 \text{ válvulas de compuerta totalmente abiertas} + 1 \text{ codo de } 90^\circ + \text{pérdidas por fricción}$$

2.7.2. Pérdidas de Energía en Válvulas de Compuerta

En el sistema de tuberías se encuentran 2 válvulas de compuerta que funcionen abiertas

por completo y una de ellas se localiza en la tubería de 2 pulgadas y las otras dos en la tubería de ½” pulgada; por lo tanto, para considerar las pérdidas se evaluará dos valores de f_T para el tamaño nominal de cada tubería.

El coeficiente de resistencia para una Válvula de compuerta es: $8f_T$

Tipo	Longitud equivalente en diámetros de tubería L_e/D
Válvula de globo —totalmente abierta	340
Válvula de ángulo —totalmente abierta	150
Válvula de compuerta —totalmente abierta	8
—abierta $\frac{3}{4}$	35
—abierta $\frac{1}{2}$	160
—abierta $\frac{1}{4}$	900
Válvula de retención —tipo oscilante	100
Válvula de retención —tipo bola	150
Válvula de mariposa —totalmente abierta, 2-8 in	45

Figura 10. Tipos de válvula

Obteniendo un valor $L_e/D=8$

Tamaño nominal de la tubería		Factor de fricción, f_T
Estados Unidos (in)	Métrico (mm)	
½	DN 15	0.026
¾	DN 20	0.024
1	DN 25	0.022
1¼	DN 32	0.021
1½	DN 40	0.020
2	DN 50	0.019
2½	DN 65	0.018

Figura 11. Factor de fricción según el tamaño de la tubería

De la Tabla 11 se tiene los Factores de fricción para cada tubería:

- $f_T = 0.019$ Para tubería de 2 pulgadas

Se calcula el valor de k:

$$k_{2\text{pulgada}} = 8 * f_T$$

$$k_{2\text{pulgada}} = 8 * 0.019$$

$$k_{2\text{pulgada}} = 0.152$$

Se determino entonces las pérdidas de energía:

$$hL = 0.152 * \frac{0.627^2}{2 * 9.8}$$

$$hL = 5.45 \times 10^{-3} m$$

Perdidas de energía en codo de 90°

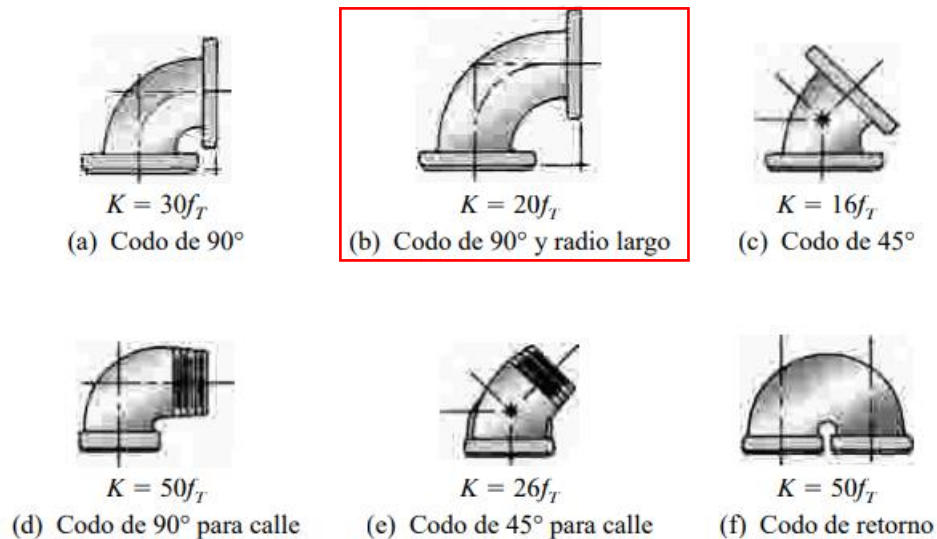


Figura 12. Factor de fricción según el tamaño de la tubería

Como el codo de 90° se encuentra en la tubería de 2 pulgadas se toma el valor $f_T = 0,019$ y se calcula:

$$k = 20f_T$$

$$k = 20 * 0.019$$

$$k = 0.38$$

$$hL = k * \frac{v1^2}{2g}$$

$$hL = 0.38 * \frac{0.627^2}{2 * 9.8}$$

$$hL = 0.01362m$$

2.7.3. Pérdidas de Energía debido a la Fricción

$$hL = f * \frac{L}{D} * \frac{v1^2}{2g}$$

Para obtener el factor de fricción f se debe evaluar el número de Reynolds en la tubería de 2 pulgadas; también se tomará en cuenta la Rugosidad ε , para luego mediante el diagrama de Moody determinar f .

Número de Reynolds de tubería de 2 pulg.

$$N_{R1} = \frac{v1 * D1}{\mu}$$

La viscosidad dinámica (μ) del agua a 15°C es $8.94 * 10^{-7} \text{ m}^2 / \text{s}$

$$N_{R1} = \frac{0.236 * 0.0508m}{8.94 * 10^{-7} \text{ m}^2 / \text{s}}$$

$$N_{R1} = 13410.29 \text{ flujo turbulento}$$

Material	Rugosidad ϵ (m)	Rugosidad ϵ (ft)
Vidrio	Liso	Liso
Plástico	3.0×10^{-7}	1.0×10^{-6}
Tubo estirado; cobre, latón, acero	1.5×10^{-6}	5.0×10^{-6}
Acero, comercial o soldado	4.6×10^{-5}	1.5×10^{-4}
Hierro galvanizado	1.5×10^{-4}	5.0×10^{-4}
Hierro dúctil —revestido	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Hierro dúctil —sin revestir	2.4×10^{-4}	8.0×10^{-4}
Concreto, bien hecho	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Acero remachado	1.8×10^{-3}	6.0×10^{-3}

Figura 13. Rugosidad del plástico

Como la Tubería que se tiene instalada es de material PVC se toma un valor de rugosidad para plástico de 3×10^{-7} m.

Se calcula:

$$\frac{D}{\epsilon} = \frac{0.0508m}{3 \times 10^{-7}m} = 139333.33$$

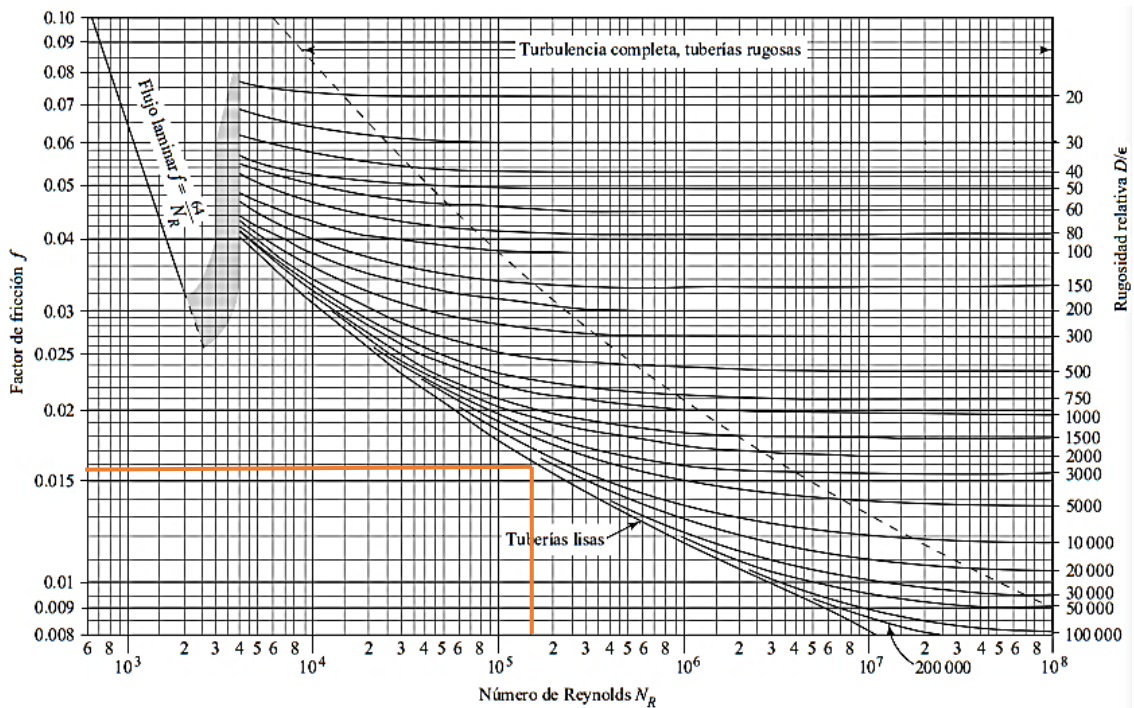


Figura 14. Diagrama de Moddy

El factor de fricción f_l según el diagrama de Moody es: 0,016 entonces aplicando ecuación se tiene:

$$hL = 0,016 * \frac{12}{0.0508} * \frac{0.8387^2}{2 * 9.8}$$

$$hL = 0.1355m$$

$hL_{total} = 2$ valvulas de compuerta totalmente abiertas + 1codo de de 90°
+ perdidas por fricción

$$hL_{total} = 2 * 5.45 \times 10^{-3}m + 0.01362m + 0.1355m$$

$$hL_{total} = 0.16002m$$

Volviendo a la ecuación 3.10 de Bernoulli para obtener P2

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} - hL = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

$$P_2 = P_1 + \gamma * \left[(Z_1 - Z_2) + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} + hL \right]$$

$$P_2 = 26.999KPa + 9.81KN/m^3 * \left[(-2.8 + 12.8) + \frac{0.624^2 - 0.236^2}{2 * 9.81} + 0.16002 \right]$$

$$\mathbf{P_2 = 123.69 kPa}$$

$$\frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} - hL = \frac{P_3}{\gamma} + Z_3 + \frac{v_3^2}{2g}$$

$$P_3 = P_2 + \gamma * \left[(Z_2 - Z_3) + \frac{v_2^2 - v_3^2}{2g} + hL \right]$$

$$P_3 = 123.69KPa + 9.81KN/m^3 * \left[(-12.8 + 15.8) + \frac{0.236^2 - 3.01^2}{2 * 9.81} + 0,020 \right]$$

$$\mathbf{P_3 = 148.34 kPa}$$

Las presiones no varían significativamente, por lo cual se tomará el valor de la presión tres que es en la salida de las tuberías de media pulgada el valor de la presión es de 148,34 [kPa], es decir 21,51 [psi] para realizar el diseño de los microaspersores.

2.8. Cálculo hidráulico del microaspersor

Donde:

T_{eje} = Torca del eje W = Potencia del eje

r_2 = Radio desde el eje de rotación a la boquilla

V_θ = Componente tangencial de la velocidad de flujo

\dot{m} = Flujo másico

ω = Velocidad angular

U = Velocidad de la boquilla

$$T_{eje} = -r_2 V_\theta 2\dot{m}$$

$$V_{\theta 1} = V_1$$

$$v_1 = 0,8387 \text{ m/s}$$

$$T_{eje} = - \frac{(5 \text{ mm})(0,8387 \text{ m/s})(1700 \text{ ml/s})(10^{-3} \text{ m}^3/\text{litro})(999 \text{ Kg/m}^3) \left[1 \left(\frac{\text{N}}{\text{kg}} \right) / \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) \right]}{(1000 \text{ mm/m})(1000 \text{ ml/litro)}}$$

$$T_{eje} = 7,12 * 10^{-3} \text{ Nm}$$

$$V_2 = W_2 - U_2$$

$$W_2 = 0,8387 \text{ m/s}$$

$$U_2 = r_2 \omega$$

$$V_2 = \frac{0,8387m}{s} * \frac{5mm * \frac{500rev}{min} * 2\pi rad/rev}{\frac{1000mm}{s} * 60s/min}$$

$$V_2 = 0,21m/s$$

$$\omega = \frac{\frac{0,21m}{s} * 1000mm/m}{5mm}$$

$$\omega = 42rad/s$$

$$\omega = 401rpm$$

Velocidad angular del aspersor es de 401rpm

2.8.1. Número de Reynolds en el microaspersor

El diámetro de la tubería por donde se une con el microaspersor es de 13 mm siendo esta de material PVC, se toma un valor de rugosidad de $3 * 10^{-7}$ m.

Se calcula:

$$Re = \frac{D V \rho}{n}$$

Donde:

D = Diámetro de la tubería (m)

ρ = Densidad del agua (Kg/m³)

$$Re = \frac{0.013 * 3.01}{8,94 * 10^{-7}}$$

$$Re = 43769.57$$

Se puede identificar que en la entrada del microaspersor tenemos un numero de Reynolds mayor a 4000 por lo que consideramos un flujo turbulento.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Ensayo de resina Model v2

En esta investigación se utilizó la resina Model V2 como material del micro aspersor, pero fue necesario realizar un ensayo para caracterizar las propiedades mecánicas de dicho material; el estudio se realizó en los Laboratorios de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

La resina Model V2 es ideal para la impresión de piezas en 3D que necesitan una alta precisión y confiabilidad en los detalles de las piezas, las principales características que lo diferencian de otros tipos, es la baja contracción y sin distorsión, alta resistencia a la flexión, color y opacidad adecuados.

Las diferentes probetas se realizaron con un mínimo de tres por cada tipo de ensayo, y todo bajo lo establecido en las especificaciones de la norma correspondiente ASTM D638 de tracción, esta normativa es ideal para establecer las propiedades mecánicas de diferentes resinas. Para la realización de los ensayos se obtuvieron las probetas de las piezas bajo las diferentes condiciones y parámetros (espesor, presión de vacío y temperatura).



La máquina en la que se efectuó el ensayo es una SHIMADZU en la que se hizo los ensayos de tracción según la normativa, en las probetas se hicieron diferentes tipos de curaciones.

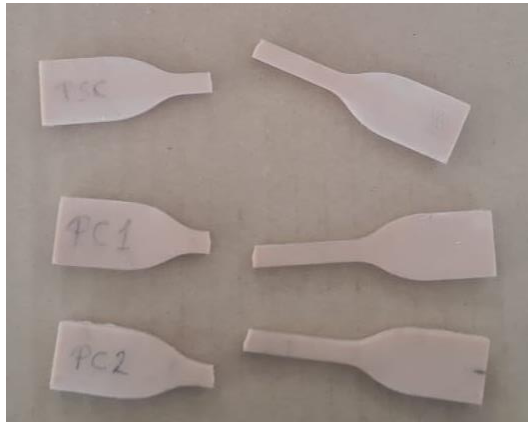
- La probeta designada como PSC curada en alcohol 10 minutos.
- La segunda probeta PC1 es curada 10 minutos en alcohol y post-curado en horno eléctrico 30 minutos a 60°C.
- La tercera probeta se designó como PC2 curada 10 minutos en alcohol y post curada 60 minutos en horno eléctrico a 60°C.



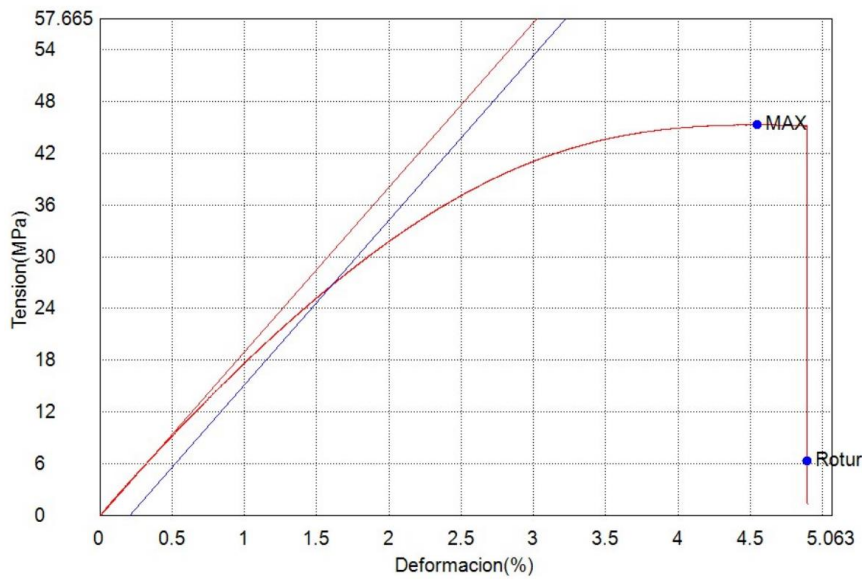
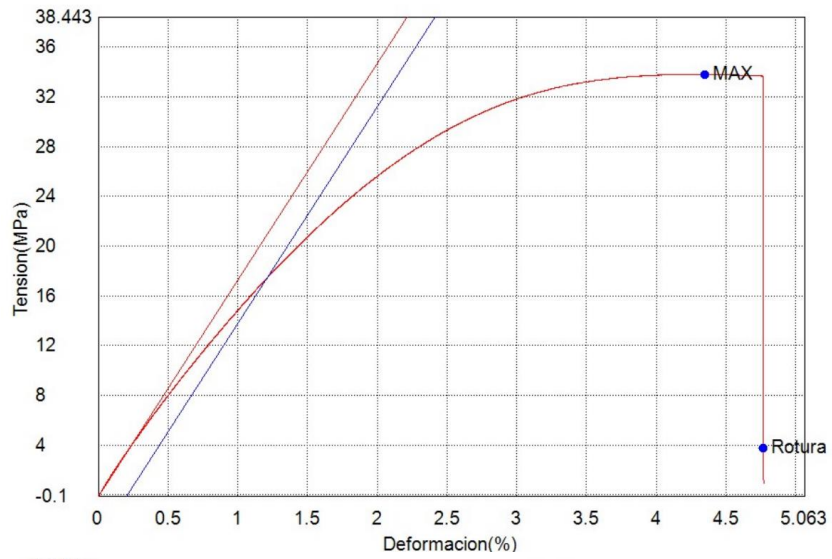
Figura 15. *Probetas de resina Model V2, marca Formlabs*

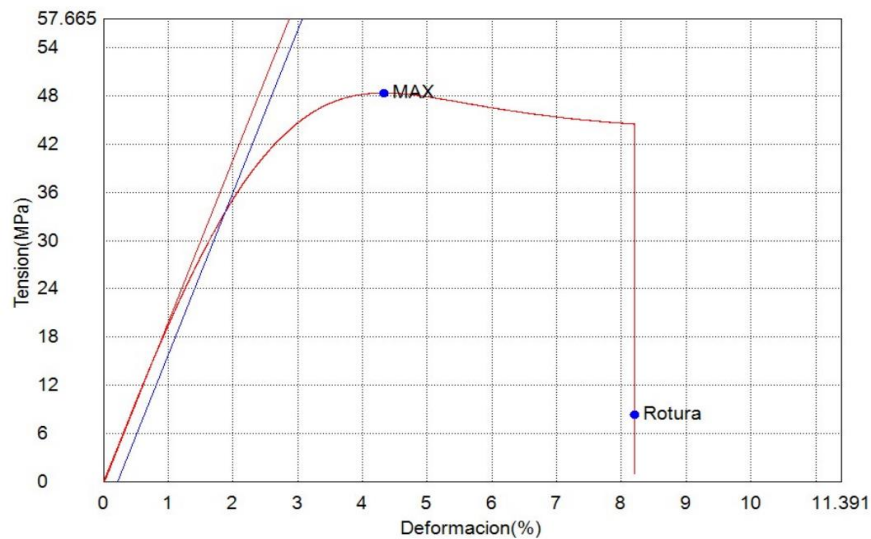
Tabla 10. Ficha de tabulación de datos resina Model V2

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA 					
FICHA DE RECOLECCIÓN Y TABULACIÓN DE DATOS					
TRACCIÓN ASTM D638					
DATOS INFORMATIVOS					
Fecha de ejecución.	16/05/2023	Ciudad	Ambato		
Lugar:	Laboratorios de la Carrera de Ingeniería Mecánica				
Equipo:	Máquina SHIMADZU AGS-X				
Elaborado por:	Robinson Venegas	Revisado por:	Ing. Diego Núñez, Mg		
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Material	Resina Model v2 (Formlabs)	Norma:	ASTM D638	Probetas ensayadas	3
Método	Acrilico.xmas	Dimensión (mm)	250*25*e	Peso de la resina (gr):	79
Tiempo de curado (psc)	10min en alcohol	Tiempo de curado (pc1):	10min en alcohol Post-curado en horno eléctrico 30 minutos	Tiempo de curado (pc2):	10min en alcohol Post-curado en horno eléctrico 60 minutos
Velocidad de Ensayo:	3mm/min	Tipo probeta	de Plana		
RESULTADOS					
N° de probeta	Elastico_Devided Gpa	PF(%FS)_Tension MPa	LE1_Tension MPa	Max. Tensión MPa	SUT MPa
PSC	1,74339	-	17,1856	33,8108	3,71489
PC1	1,91234	-	26,3796	45,3153	6,26932
PC2	2,02154	-	33,0225	48,3901	8,27190
Promedio	1,89242	-	25,5292	42,5054	6,08537
FOTOGRAFÍAS DE ENSAYO					



GRÁFICAS DE ESFUERZO DEFORMACIÓN.





OBSERVACIÓN DE ENSAYO

Las probetas presentan fallas en la parte superior en la zona de agarre.



Después de realizar los ensayos respectivos el análisis de la ficha técnicas las características mecánicas a tracción cumplen con los parámetros mecánicos para el diseño de un microaspersor con un S_y de 42,5054MPa. Se podría decir que con este tipo de resina si es accesible realizar los prototipos de aspersores.

3.2. Ensayo de resina Tough 2000

En el ensayo que se realizó en los laboratorios de la FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA con la máquina de la marca SHIMADZU se procedió a ensayar las probetas con la norma ASTM D638 de las cuales se les realizo distintas curaciones a las probetas para los ensayos a tracción.

- La probeta designada como PSC curada en alcohol 10 minutos.
- La segunda probeta PC1 es curada 10 minutos en alcohol y post-curado en horno eléctrico 30 minutos a 70°C.
- La tercera probeta se designó como PC2 curada 10 minutos en alcohol y post curada 60 minutos en horno eléctrico a 70°C.

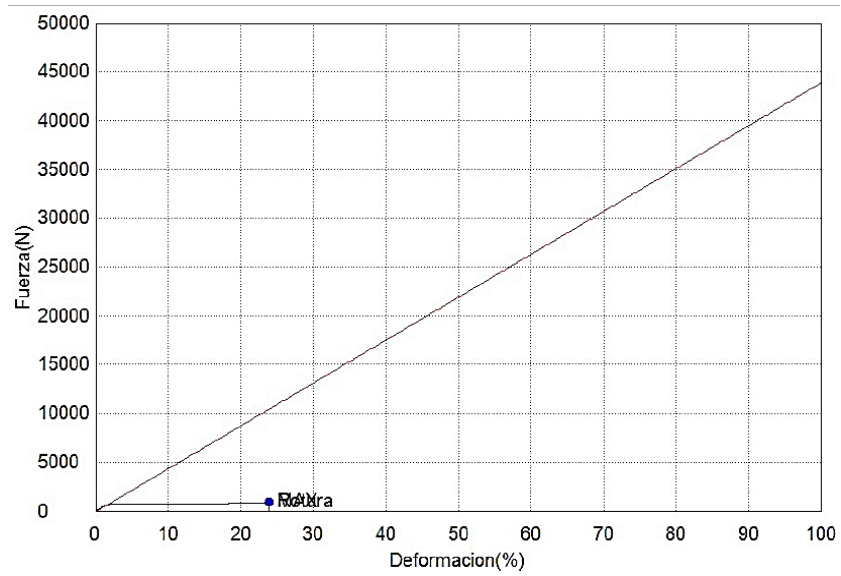
Tabla 11. Ficha de tabulación de datos Resina Tough 2000

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA 					
FICHA DE RECOLECCIÓN Y TABULACIÓN DE DATOS					
TRACCIÓN ASTM D638					
DATOS INFORMATIVOS					
Fecha de ejecución.	27/06/2023		Ciudad	Ambato	
Lugar:	Laboratorios de la Carrera de Ingeniería Mecánica				
Equipo:	Máquina SHIMADZU AGS-X				
Elaborado por:	Robinson Venegas		Revisado por:	Ing. Diego Núñez, Mg	
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Material	Resina Tough 2000 (Formlabs)	Norma:	ASTM D638	Probetas ensayadas	3
Método	Acrilico.x mas	Dimensión (mm)	165*15*3	Peso de la resina (gr):	79
Tiempo de curado (psc)	10min en alcohol	Tiempo de curado (pc1):	10min en alcohol Post-curado en horno eléctrico 30 minutos	Tiempo de curado (pc2):	10min en alcohol Post-curado en horno eléctrico 60 minutos
Velocidad de Ensayo:	3mm/min		Tipo probeta	Plana	
RESULTADOS					
N° de probeta	Elastico_Devided GPa	Rotura_Fuerza Sensibilidad 10 N	Rotura_Tension Sensibilidad 10 N/mm2	Max. Tensión MPa	Rotura-desplazamiento Sensibilidad 10 mm
PSC	1,86550	600,720	29,0378	29,0597	26,3530
PC1	2,31691	738,653	35,9743	35,9743	26,5825
PC2	2,11812	873,399	42,0998	42,0998	23,9185
Promedio	2,10017	737.5906	35.7039	35.7112	25.618
FOTOGRAFÍAS DE ENSAYO					

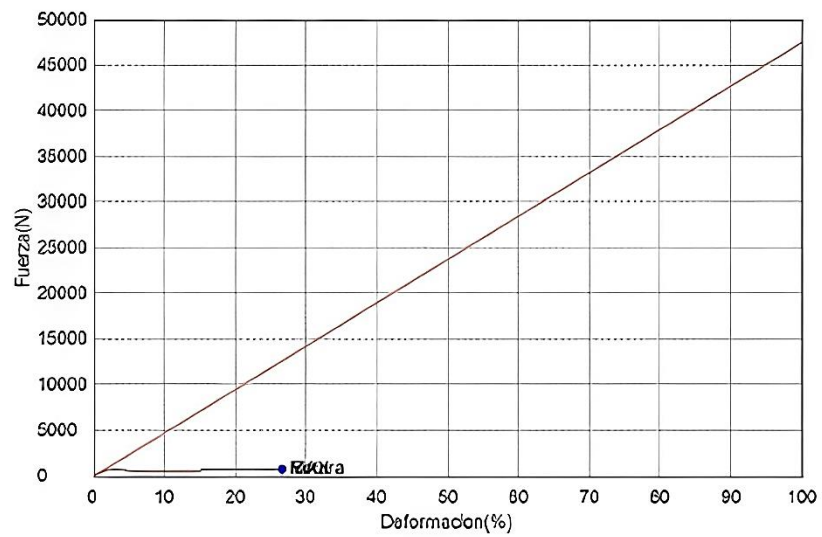


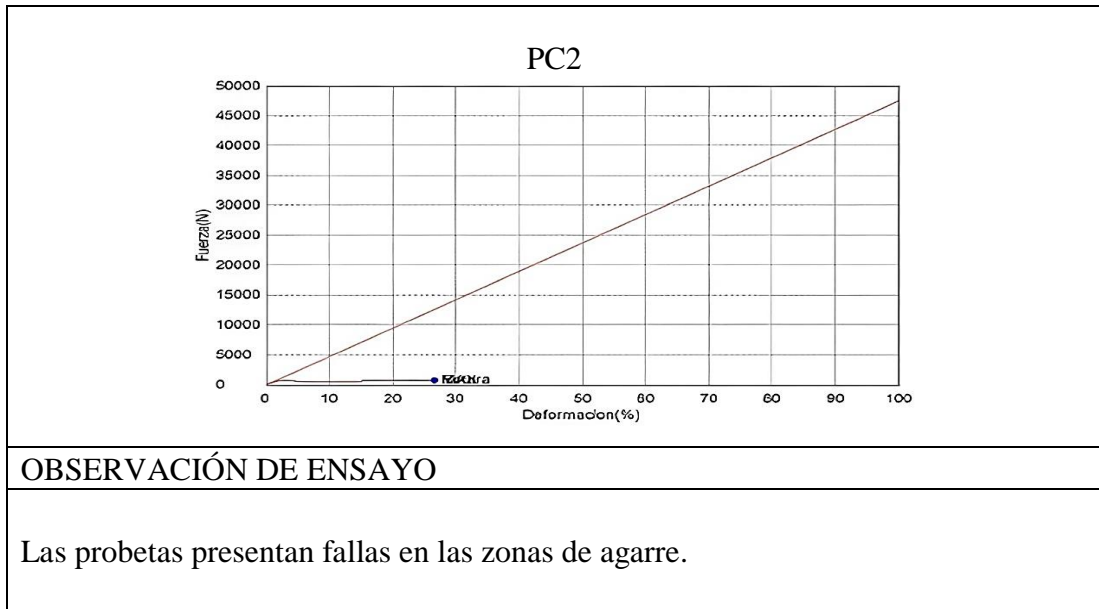
GRÁFICAS DE ESFUERZO DEFORMACIÓN.

PSC



PC1





Al terminar el ensayo se compararon los valores, Se realizo con el método ASTM D638 y si cumple con los valores establecidos en la ficha técnica (Anexo 7) con los valores ensayados (Tabla 11). Se presenta a continuación un cuadro de comparación.

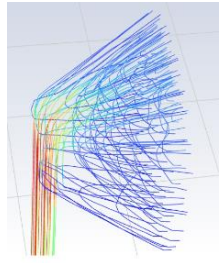
Propiedades Mecánicas	Ficha técnica	Postcurada	Ensayada Sin curar	Ensayada PC1	Ensayada PC2
Resistencia a la rotura por tracción (MPa)	29	46	29.03	35.97	42.09
Módulo de tracción (GPa)	1.2	2.2	1.86	2.11	2.31

3.3.Comportamiento de microaspersores en Software de análisis por CFD

3.3.1. Parámetros de software

Para el análisis se evaluaron distintos diseños de microaspersor se utilizó el software ANSYS para establecer el comportamiento del fluido dentro de la cavidad de salida del microaspersor según cada diseño que se elaboró; los parámetros que se plantearon previo a cada simulación y que se mantienen constantes en cada uno de los diseños a continuación; en la Tabla 12 se muestra el tipo de análisis que se va hacer, el tipo de fluido, lo parámetros termodinámicos, parámetros de turbulencia y configuraciones de la malla.

Tabla 12. Parámetros usados para el Software

Parámetros usados para el Software	
Tipo de Análisis	Interno 
Fluido	Agua
Parámetros Iniciales	
Presión	137895 Pa
Temperatura	15°C
Velocidad	3.01 m/s
Presión atmosférica	97092 Pa
Turbulencia	
Intensidad de turbulencia	5%
Relación de viscosidad turbulenta	10
Configuración de la malla	
Nivel de malla	0.7
Geometría	Tetraedros
Preferencia física	CFD
Preferencia de solucionador	Fluido
Orden de los elementos	Lineal
Refinamiento	
Reprimido	No
Refinamiento	2

En primer lugar, se presenta el microaspersor del mercado local, seguido de modificaciones que, mediante el software y los parámetros de presión y la velocidad de entrada y el caudal como la salida, lo que permite determinar el comportamiento y la velocidad de salida.

3.3.2. Configuración de la malla

El modelo que ingreso al análisis en el software es la espiga (ascensor), el modelo que se diseño es la parte interna del cuerpo de agua y es aquí donde se creó la malla computacional.



Figura 16. Geometría de análisis por CFD

Una vez creada la geometría se realizó el mallado por tal motivo se ingresó los parámetros iniciales en los que se definirán el tamaño y el mallado para que el análisis sea más preciso. Se utilizo el método de tetraedros para el mallado en todo el cuerpo.

Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Body
Definition	
Suppressed	No
Method	Tetrahedrons
Algorithm	Patch Conforming
Element Order	Use Global Setting

Figura 17. Definición método de mallado

Se ingreso los parámetros iniciales del mallado las cuales tendrán diferentes técnicas, se fue variando los valores hasta que se observó una variación en los nodos y elementos como se muestra en la figura 18.

Defaults	
Physics Preference	CFD
Solver Preference	Fluent
Element Order	Linear
<input type="checkbox"/> Element Size	Default (3,1569e-003 m)
Export Format	Standard
Export Preview Surface Mesh	No
Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	128325
<input type="checkbox"/> Elements	662613
Show Detailed Statistics	No

Figura 18. Parámetros para el mallado y números de elementos

En la geometría se mejoró el mallado, de modo que se realizó un refinamiento de 2 en la salida y en las partes curvas que se encuentra en contacto el agua, con la geometría refinada en la salida del agua se tendrán valores con mayor exactitud en las simulaciones y así entender cómo se están comportando los fluidos.

Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	33 Faces
Definition	
Suppressed	No
<input type="checkbox"/> Refinement	2

Figura 19. Refinamiento del modelo en la salida del fluido

Se realizó algunos cambios viendo cómo iban variando valores de la calidad del mallado por tal motivo se trabajó con skewness para las secciones que se encuentran en las partes curvas para que el mallado sea mejor y tener mejores resultados. Teniendo en cuenta que Skewness es un elemento para medir la calidad de la malla de un modelo y mide la oblicuidad entre elementos, los valores cercanos a 0 tienen una buena calidad mientras que si son cercanos a 1 el mallado es malo.

Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
<input type="checkbox"/> Target Skewness	Default (0,9)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Skewness
<input type="checkbox"/> Min	3,4565e-005
<input type="checkbox"/> Max	0,99981
<input type="checkbox"/> Average	0,29024
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,18832

Figura 20. Calidad del mallado

Al final con las condiciones ya planteadas, le mandamos a mallar el modelo donde se observó que en las zonas que no se realizó el refinamiento posee elementos de mayor tamaño.



Figura 21. Mallado computacional

Para que el programa pueda iniciar los cálculos se debe de definir los lugares geométricos, de manera que se definieron de la siguiente manera las condiciones de frontera para que se pueda reconocer en el software y se procedió a iniciar el análisis.

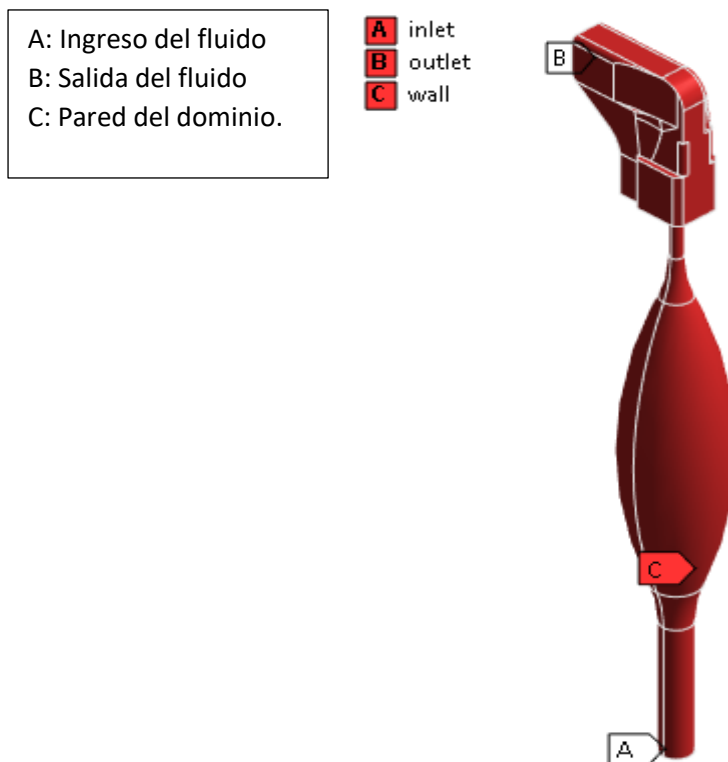


Figura 22. Condiciones de frontera del modelo AT1M2

3.3.3. Aspersor de micro JET II

El microaspersor básico tiene una cavidad que va desde 3 mm a 1 mm, el parámetro de entrada que se utiliza es una presión de 20 [Psi], que será la misma en todos los casos porque, como se dijo anteriormente, esta presión se mantendrá constante en la tubería de la boquilla del micro aspersor; considerando que el parámetro de salida será el caudal de cada microaspersor proyecta de acuerdo a su diseño y el cual será determinado mediante pruebas experimentales, en cuanto al caudal la base del proyecto es de 0.5 L/min.

Los parámetros planteados en el software son:

- Presión de entrada = 137895.15 [Pa] = 20 [Psi]
- Caudal de Salida = $0.00048 \text{ [m}^3 \text{ /s]} = 0.48 \text{ [l/min]} \approx 0.5 \text{ [l/min]}$

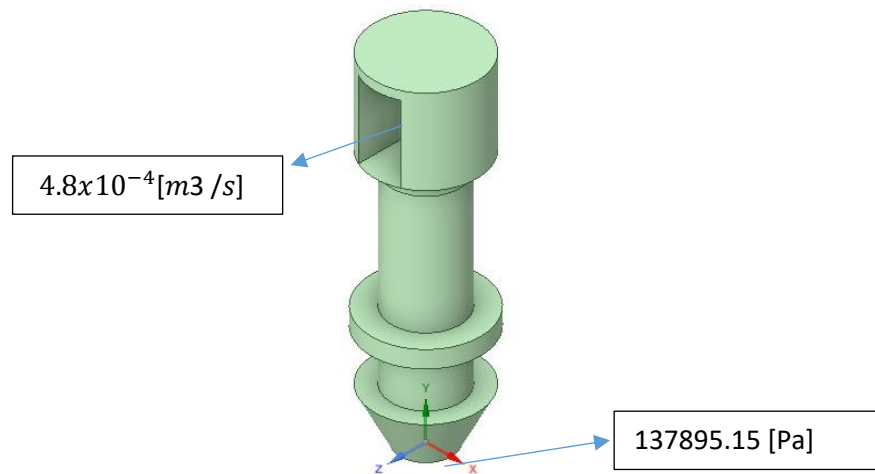


Figura 23. Diseño aspersor micro Jet

3.3.4. Aspersor Original 1 (AT1)

El diseño de este microaspersor tiene una mayor complejidad ya que es un mecanismo que gira en su eje de acuerdo con la presión que ejerce el agua, consta de un orificio rectangular de 10.6 mm^2 ; la velocidad máxima en el aspersor es 3,01 m/s, como se muestra en la Figura 24.

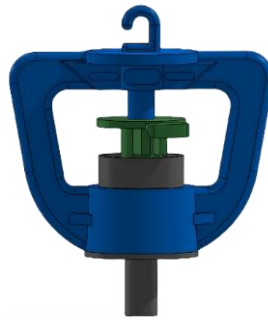


Figura 24. Aspersor 1

A continuación, se presenta modificaciones en el diseño original para poder seleccionar la mejor alternativa y que cumpla con las condiciones necesarias para el riego del cultivo de papa.

3.3.4.1. Aspersor 1 Diseño Original (AT1)

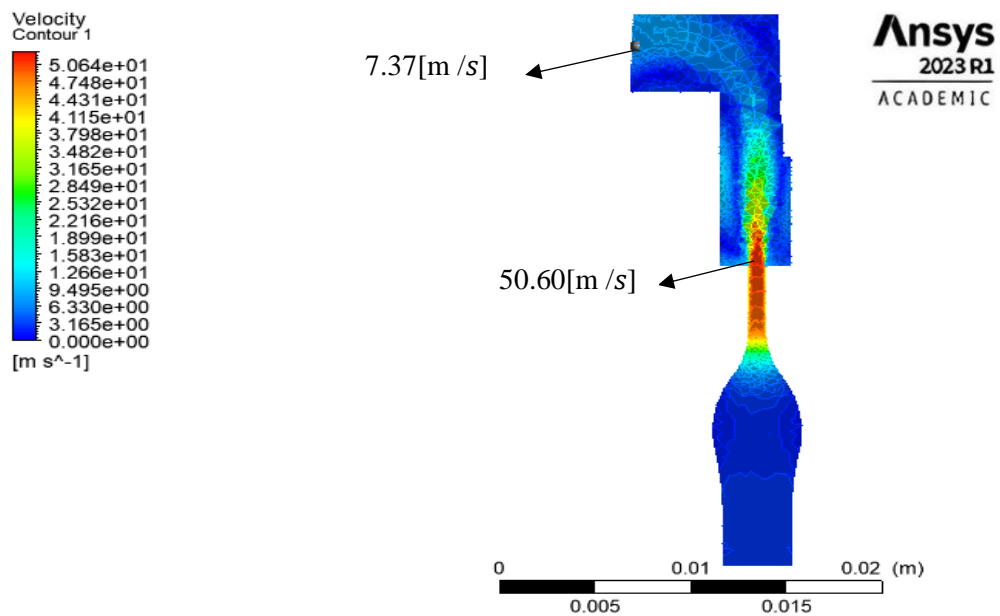


Figura 25. Velocidad

El análisis que se muestra en la Figura 25 corresponde al diseño original de un microaspersor del mercado con características únicas, mediante un análisis CFD se puede observar como el fluido se comporta antes de salir del elemento, en la parte más estrecha podemos ver una velocidad máxima de 50.64 m/s mientras que en el punto señalado del microaspersor la velocidad máxima es de 50.60 m/s y la velocidad mínima es de 7.37 m/s.

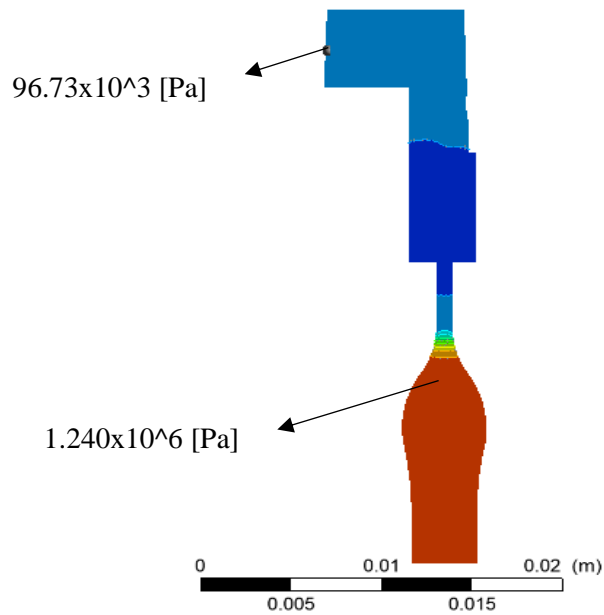
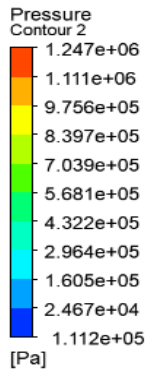


Figura 26. Presión

El análisis de presión que se muestra en la Figura 26 el diseño original muestra como en la parte inferior del microaspirador donde ingresa el fluido de agua la presión llega a un punto máximo de 1.240×10^6 Pa posteriormente la presión en la salida del fluido se encuentra 96.73×10^3 Pa por lo que existe una pérdida de presión cumpliendo el principio de Bernoulli.

3.3.4.2. Aspirador 1 Modificada 1(AT1M1)

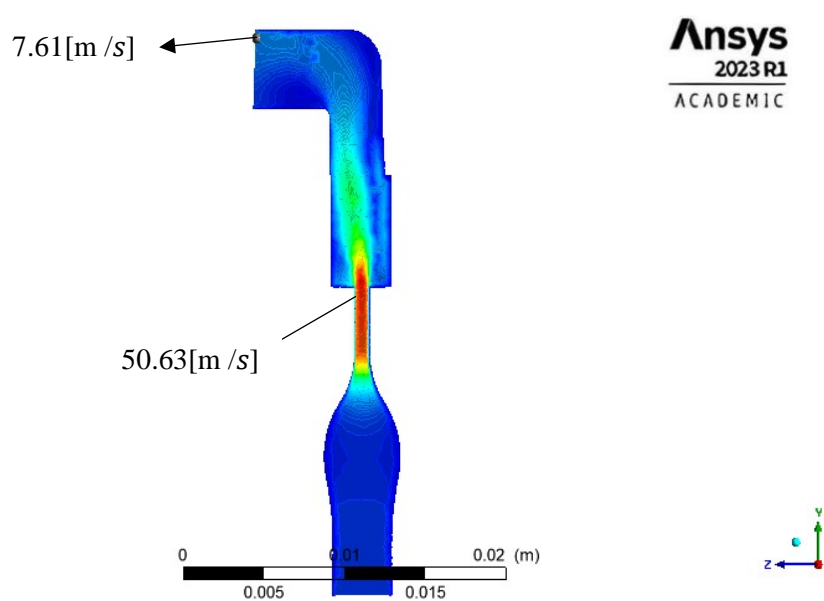
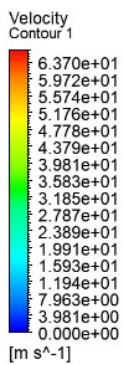


Figura 27. Velocidad

El análisis que se muestra en la Figura 27 corresponde a la primera modificación que se realizó en el microaspersor original, en la geometría se efectuó un redondeo donde choca el agua para permitir una mayor dirección de los vectores, mediante un análisis CFD se puede observar como el fluido varió pero la velocidad del fluido disminuyó, en el punto de salida del microaspersor la velocidad es 7.61 m/s y la velocidad máxima en la reducción de la sección es de 50.63 m/s, por lo que no es una buena alternativa para la implementación del microaspersor.

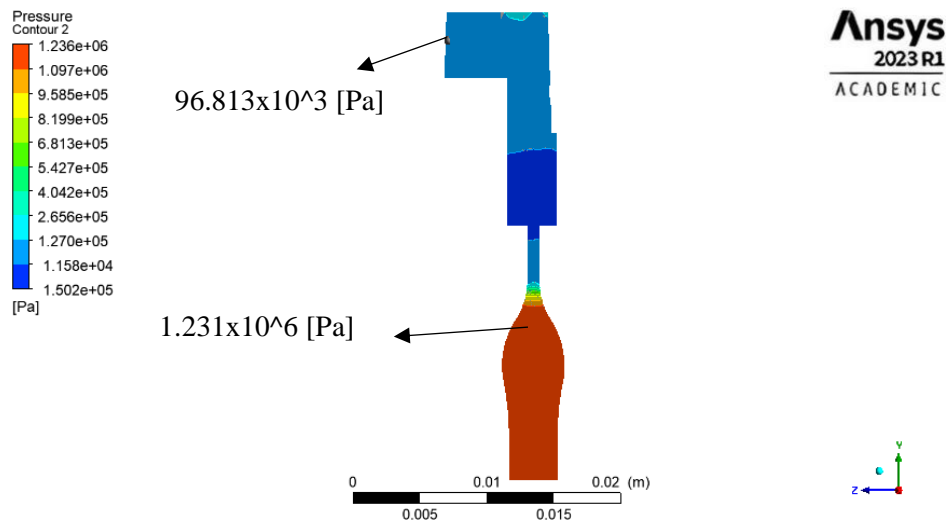


Figura 28. Presión

El análisis de presión que se muestra en la Figura 28 en la primera modificación, en la parte superior de microaspersor donde se efectuó el redondeo en las esquinas la presión se mantiene de forma constante a 96.813×10^3 Pa de esta forma identificamos que no existe un cambio pequeño pero que si influye en la salida del fluido.

3.3.4.3. Aspersor 1 Modificada 2 (AT1M2)

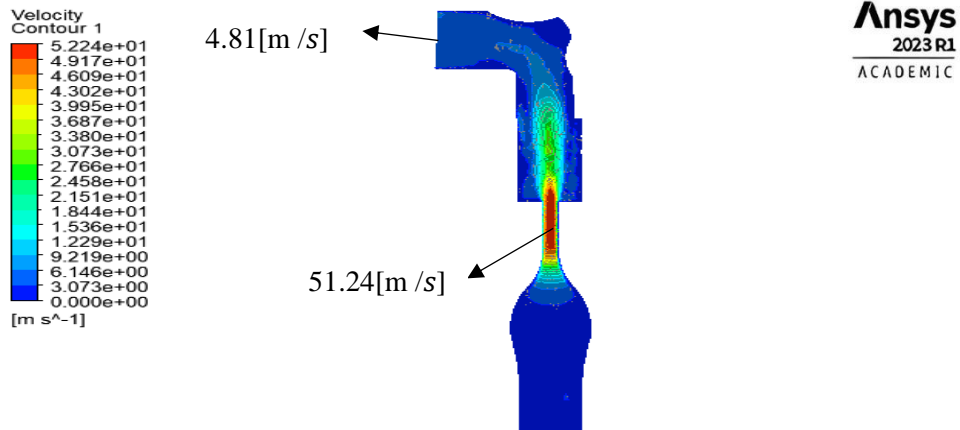


Figura 29. Velocidad

El análisis que se muestra en la Figura 29 corresponde a la segunda modificación la cual a partir de los redondeos en la parte superior de microaspersor se realiza dos reducciones de sección en los lugares donde tiene un menor contacto el fluido con el propósito de que el agua choque en esos punto para que la velocidad del fluido aumenta y le dé una mayor dirección de aspersión, mediante un análisis CFD se puede observar el incremento de velocidad, en el punto de salida del microaspersor la velocidad máxima 51.24 m/s y la velocidad mínima es de 4.81 m/s, por lo que es la mejor alternativa para la implementación del microaspersor.

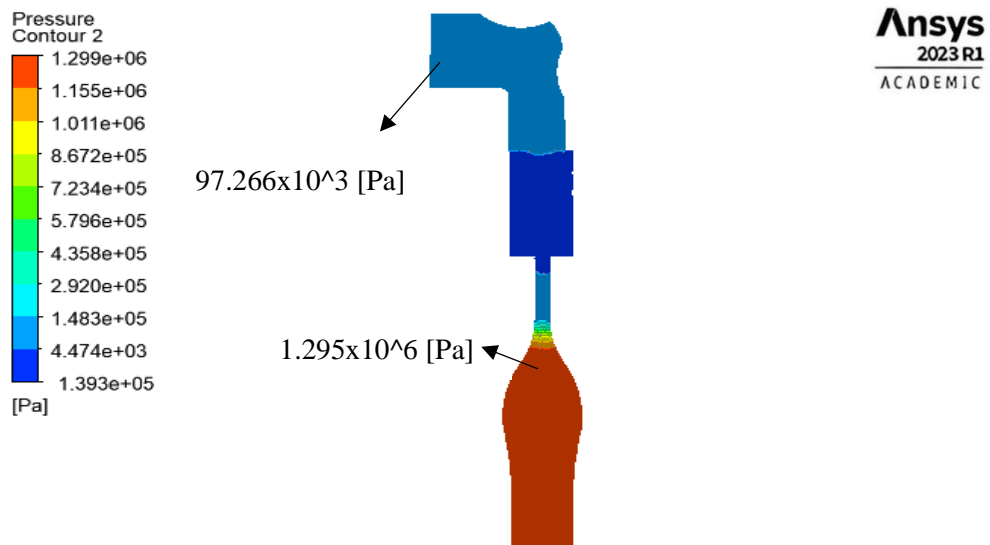


Figura 30. Presión

El análisis de presión que se muestra en la Figura 30 en la segunda modificación, donde se efectuaron la reducción de sección en las esquinas la presión se mantiene de forma constante a 97.266×10^3 Pa y la presión máxima es 1.29×10^6 Pa de esta forma identificamos que existe una menor presión por lo que también la velocidad si aumentó.

3.3.5. Aspersor Original 2 (AT2)

El diseño de este microaspersor es un mecanismo que gira de acuerdo con la velocidad que ejerce el agua por lo que choca con paredes generando movimiento alrededor de su propio eje, consta de un orificio rectangular de 12mm^2 ; la velocidad máxima en el aspersor es 3.01 m/s.



Figura 31. Aspersor 3

3.3.5.1. Aspersor 2 Diseño Original (AT2)

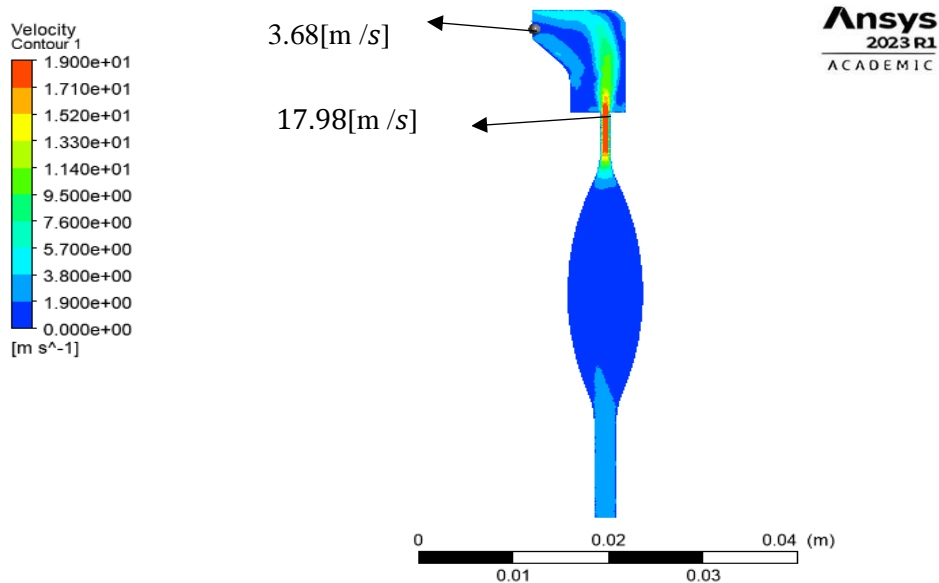


Figura 32. Velocidad

El análisis que se muestra en la Figura 32 corresponde al diseño original de un microaspersor del mercado con características únicas, mediante un análisis CFD se puede observar como el fluido se comporta antes de salir del elemento, en la parte más estrecha podemos ver una velocidad máxima de 19.01 m/s mientras que en el punto de salida del microaspersor la velocidad es de 3.68 m/s y la velocidad máxima en la reducción de la sección es de 17.98 m/s.

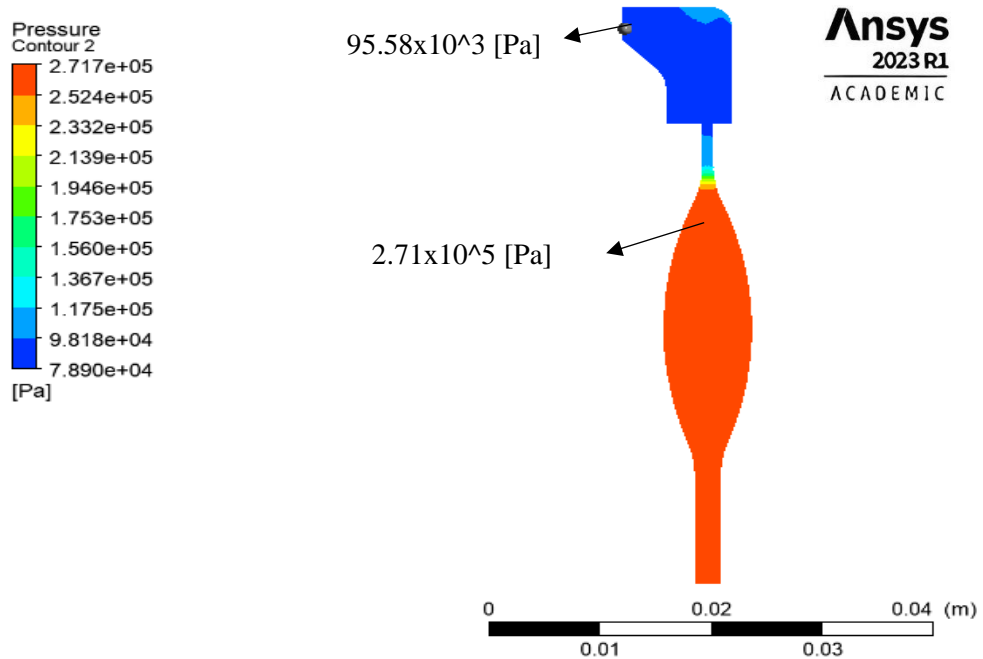


Figura 33. Presión

El análisis de presión que se muestra en la Figura 33 en diseño original nos muestra como en la parte superior del microaspersor donde sale el agua nos da la presión de 95.58x10³ Pa posteriormente la presión en la reducción de sección se encuentra 2.71x10⁵ Pa por lo que existe una pérdida de presión en la salida de modo que está cumpliendo el principio de Bernoulli.

3.3.5.2. Aspersor 2 Modificada 1(AT2M1)

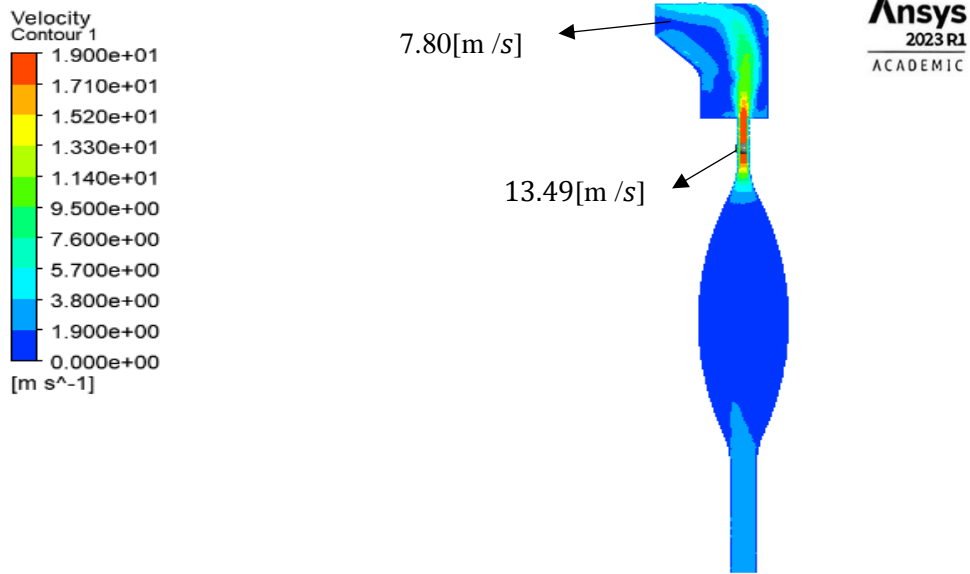


Figura 34. Velocidad

El análisis que se muestra en la Figura 34 corresponde a la primera modificación que se realizó en el microaspersor original, en la geometría se efectuó un redondeo donde choca el agua para permitir una mayor dirección de los vectores, mediante un análisis CFD se puede observar como el fluido vario pero la velocidad del fluido disminuyo, en el punto de salida del microaspersor la velocidad se regula 7.80 m/s y la velocidad en la reducción de la sección que se observó es de 13.49 m/s, por lo que no es una buena alternativa para la implementación del microaspersor.

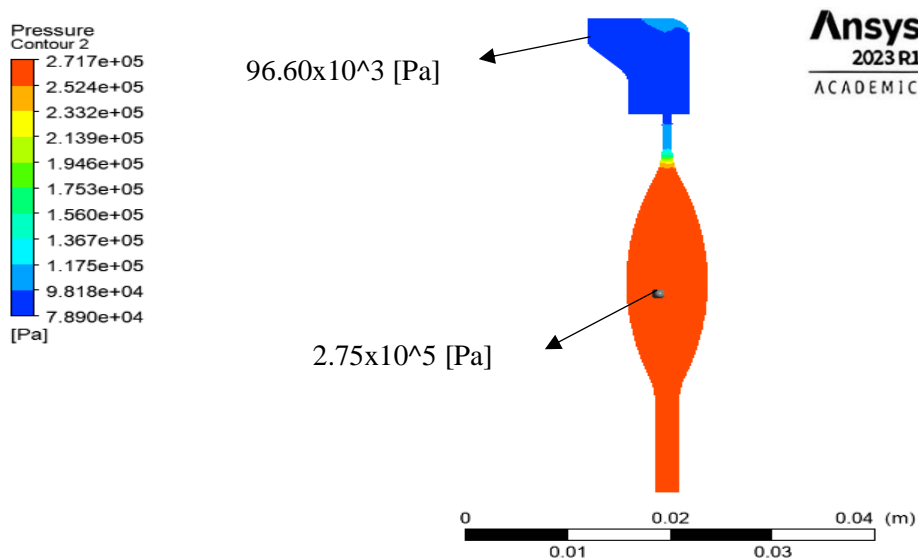


Figura 35. Presión

El análisis de presión que se muestra en la Figura 35 en la primera modificación, en la parte superior de microaspersor donde se efectuó el redondeo en las esquinas la presión se mantiene de forma constante a 96.60×10^3 Pa de esta forma identificamos que no existe un cambio significativo en la salida del fluido con los cambios que se realizó de los diseños originales.

3.3.5.3. Aspersor 2 Modificada 2 (AT2M2)

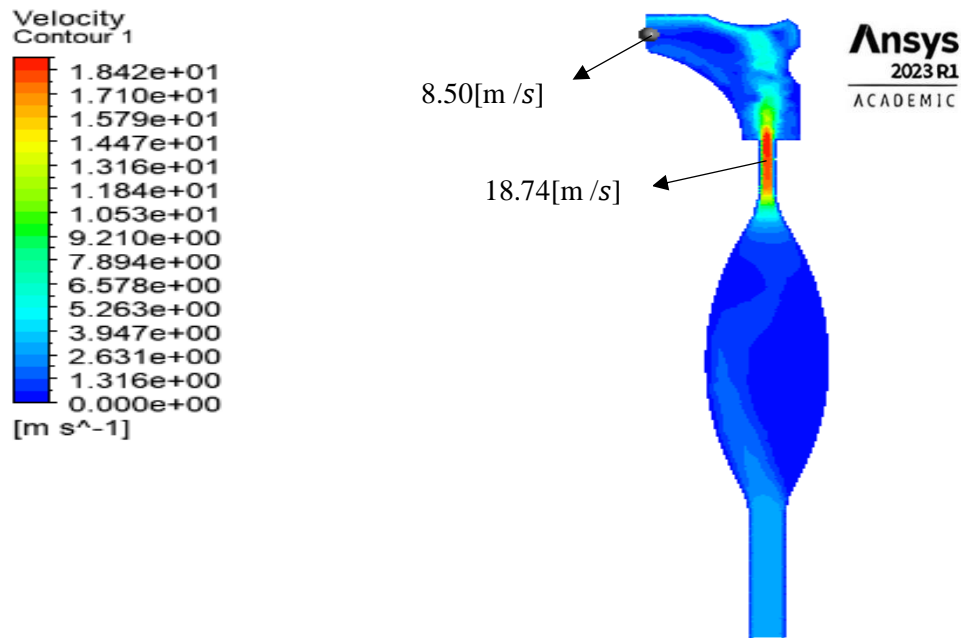


Figura 36. Velocidad

El análisis que se muestra en la Figura 36 corresponde a la segunda modificación la cual a partir de los redondeos en la parte superior de microaspersor se realiza dos reducciones de sección en los lugares donde tiene un menor contacto el fluido con el propósito de que el agua choque en esos punto para que la velocidad del fluido aumenta y le dé una mayor dirección de aspersión, mediante un análisis CFD se puede observar el incremento de velocidad, en el punto de salida del microaspersor la velocidad es de 8.50 m/s y la velocidad máxima es de 18.74 m/s en la reducción de sección, por lo que es la mejor alternativa para la implementación del microaspersor.

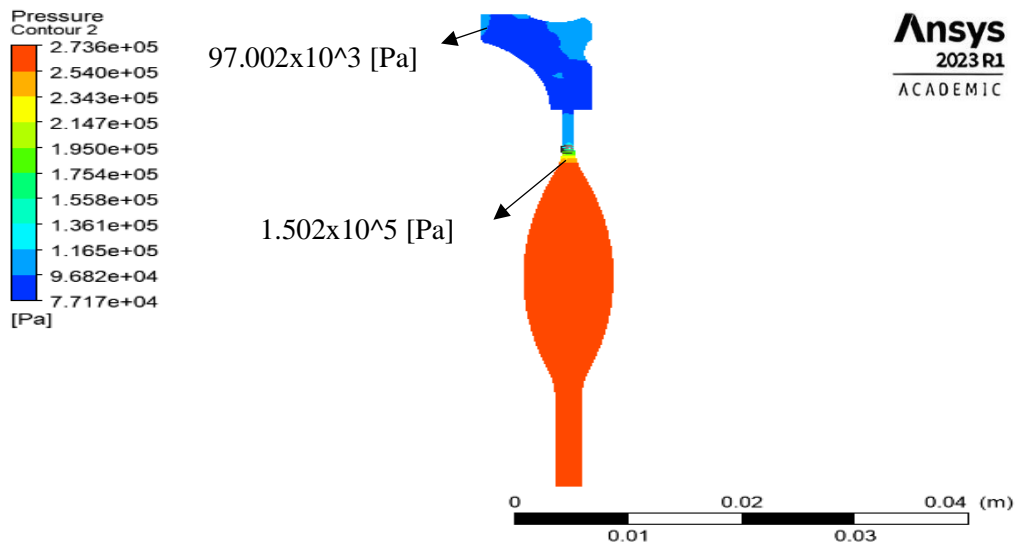


Figura 37. Presión

El análisis de presión que se muestra en la Figura 37 en la segunda modificación, donde se efectuaron la reducción de sección en las esquinas la presión se mantiene de forma constante a 97.002×10^3 Pa en la salida del fluido mientras que la presión máxima en la reducción de la sección es de 1.502×10^5 Pa de esta forma identificamos que existe una menor presión por lo que también la velocidad si aumentó.

Además, se realizó la simulación de variable de partículas en el software para ver su funcionamiento del microaspirador seleccionado en el cual se puede observar cómo se va a comportar el fluido por toda el microaspirador.

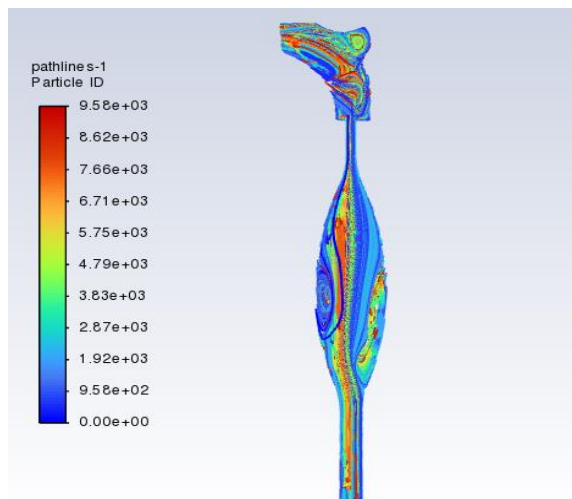


Figura 38. Simulación de variable de partículas

3.4. Construcción de los nuevos modelos

Los modelos rediseñados de los dos prototipos de aspersores se realizaron mediante una impresora de 3D que se encuentra en los laboratorios de la FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA para las impresiones se las realizó con la resina Tough 2000. En estos modelos rediseñados se procede a la impresión y comprobar los resultados obtenidos para ver el margen de error con el modelo original.

3.4.1. Fabricación de los modelos con resina Tough 2000

Se realizó probetas con la norma ASTM D638 en SolidWorks se guardó el archivo en formato stl para poder pasarle al Preform que es el programa con el que se utiliza la impresora 3D luego se abre el archivo se orienta y se coloca los soportes y se manda carga en la cola de impresión.

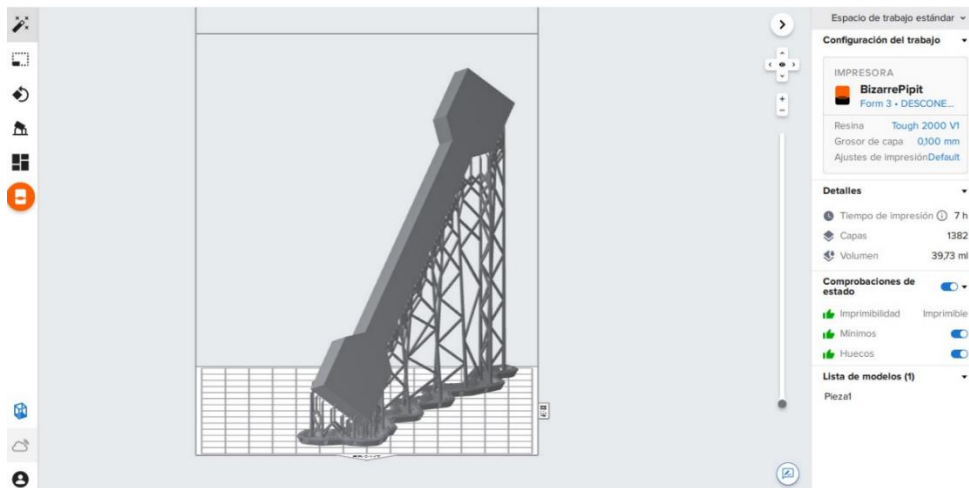


Figura 39. Preform probeta ASTM D638

Se terminó la impresión y se obtuvo la resina sobrante, luego se sacó las probetas para colocarlas en alcohol isopropílico y se dejó secar para sacar los soportes y llevarlas al horno eléctrico para su curación que es de 1 hora a una temperatura de 70 °C.



Figura 40. Preform probeta ASTM D638

Se realizó los ensayos de tracción en la máquina SHIMADZU con el software para análisis de materiales TRAPEZIUM X, para el análisis se debe ingresar los datos ingreso como son el espesor, anchura y longitud calibrada e iniciamos el análisis en el programa.

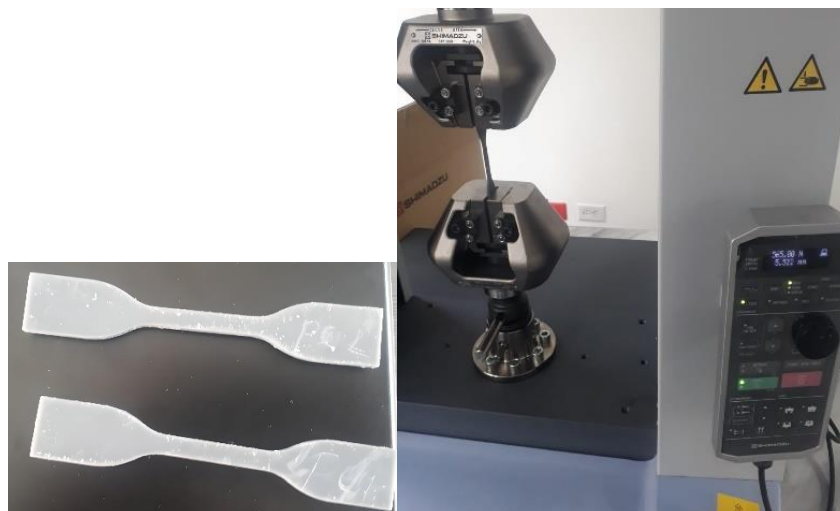


Figura 41. Ensayos de tracción

Se inició el análisis y se revisó como iba variando los resultados en el software mientras que variaba la elongación de la probeta hasta que llegó a un punto donde la probeta se rompió y se obtuvieron los resultados finales.

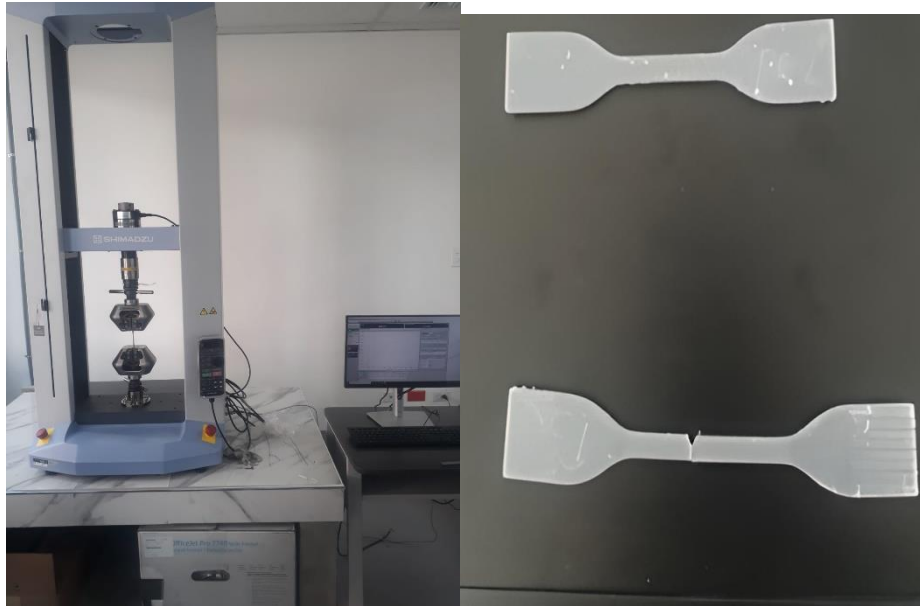


Figura 42. Resultados de tracción de la probeta con resina Tough 2000

La obtención del prototipo de aspersor impreso al ser el primero que se realizó se mandó a imprimir por partes del diseño original hasta que se obtuvieron todas las partes hasta ensamblar todo el microaspersor completo, lo que se tiene que tener en cuenta es que los archivos tienen que guardarse en stl para abrir en el software Preform y subir a la impresora 3D para sus posteriores impresiones.



Figura 43. Impresión de las partes del microaspersor original en resina Tough 2000

Al terminar la impresión se sacó las piezas de la base de impresión y se hizo la limpieza de la resina sobrante de la base, se colocó en el alcohol isopropílico por un tiempo de 20 minutos para la limpieza de las impurezas para sacar los soportes de las piezas. Se le hicieron el post-curado de las piezas en el horno eléctrico para mejorar las propiedades mecánicas a una temperatura de 70 °C por una hora.







Figura 44. Limpieza y post curado de las piezas con resina Tough 2000

3.4.2. Rediseño con impresiones en resina

Se imprimió el prototipo de microaspersor con resina Tough 2000 al ser la primera impresión en este tipo de resina se procedió a realizar la curación en el horno eléctrico por una hora y a una temperatura de 70°C. Por último, se procedió a analizar los detalles para su posterior funcionamiento. Los elementos impresos se encuentran en la tabla 13.

Tabla 13. Elementos impresos en resina Tough 2000, marca Formlabs

Elemento	Fotografía
Cabeza diseño 1	
Espigas del diseño 1 modificaciones 1 y 2	
Base del diseño 1	
Espigas del diseño 2 modificaciones 1 y 2	



Al realizar las impresiones se procedió al ensamblado de los elementos impresos y se obtuvo como resultado el microaspersor completo, pero existió algunos inconvenientes en las salidas de los fluidos debido a la contracción del material al momento que se efectuó la impresión 3D.



Figura 45. Ensamble del diseño 1 impreso



Figura 46. Ensamble del diseño 2 impreso

3.5. Pruebas de funcionamiento del microaspersor

Las pruebas experimentales que se presentan a continuación permitieron determinar el alcance, altura y ángulo de la salida del chorro por cada espiga de los 2 diseños de microaspersores y de cada diseño se realizaron dos modificaciones.

En el banco de pruebas que se aplicó en la Parroquia Tanicuchi en un sembrío de papas que tiene 15 días de germinación, cada dos surcos se ubica una tubería de 1/2" en la cual se ubica cada 6 metros un aspersor.

Los parámetros que se usó son:

- Presión de 20 [Psi]
- Tubería de 13 mm

En la Figura 46 se muestra el esquema que se utilizó para el banco de pruebas. El sistema se activa mediante una válvula de compuerta donde se regula el caudal del agua que posteriormente pasa por la tubería de 13 mm que es representada por la línea roja, el tiempo de riego es de 4 horas que son distribuidas en dos jornadas que es recomendable para el cultivo de papa en el periodo de germinación.

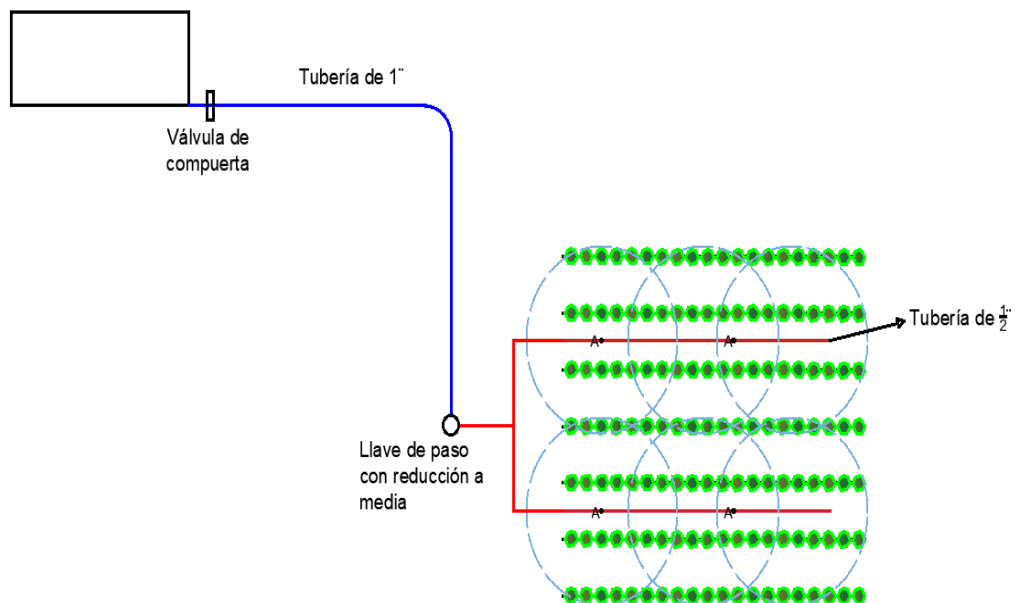


Figura 47. Banco de pruebas

Funcionamiento del microaspersor con la espiga modificada y con el banco de pruebas realizado en campo de tal manera que se le dejó que funcione por el transcurso de cuatro horas en las cuales se mojó y el alcance fue de 6 metros.




Figura 48. Dispositivos colocados en el banco de pruebas


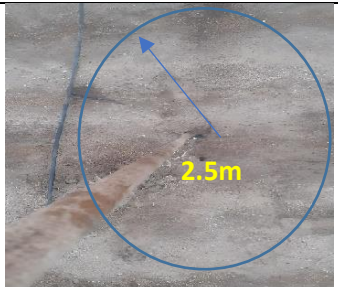




Demostración del banco de pruebas en el campo con seis prototipos de microaspersores en los que se le cambio las espigas para el respectivo funcionamiento.



Figura 49. Funcionando con las espigas modificadas del diseño

Tabla 14. Cuadro comparativo del funcionamiento del sistema de aspersión

Código	Descripción	Espiga	Radio de mojado	Diámetro de alcance	% de mejora	Aplicaciones
AT1	Aspersor original			Dos metros	–	Para hortalizas o elementos que necesiten pocas cantidades de agua
AT1M1	Modificación 1			Dos metros y medio	20%	Se utiliza para los cultivos de vegetales y en las plantaciones.
AT1M2	A1-modificación 2			Tres metros	50%	Se utiliza para cultivos de papas con pequeñas cantidades de agua.

AT2	Aspersor original			Cinco metros	–	Se utiliza en viveros y hortalizas en cultivos.
AT2M1	A2-modificación 1			Cinco metros y medio	10%	Se utiliza en lugares de grandes extensiones y con mayores cantidades de agua.
AT2M2	A2-modificación 2			Seis metros de alcance	20%	Se utilizará para el cultivo de papas con las modificaciones hechas.

3.6. Análisis de resultados

A partir de un aspersor original se realizó un análisis de fluido dinámico computacional el cual se detectó que realizando modificaciones en la geometría de la espiga por donde sale el agua aumenta la velocidad y también varía el alcance de la aspersión considerando que a un mayor alcance se llega a una mayor cantidad de plantas.

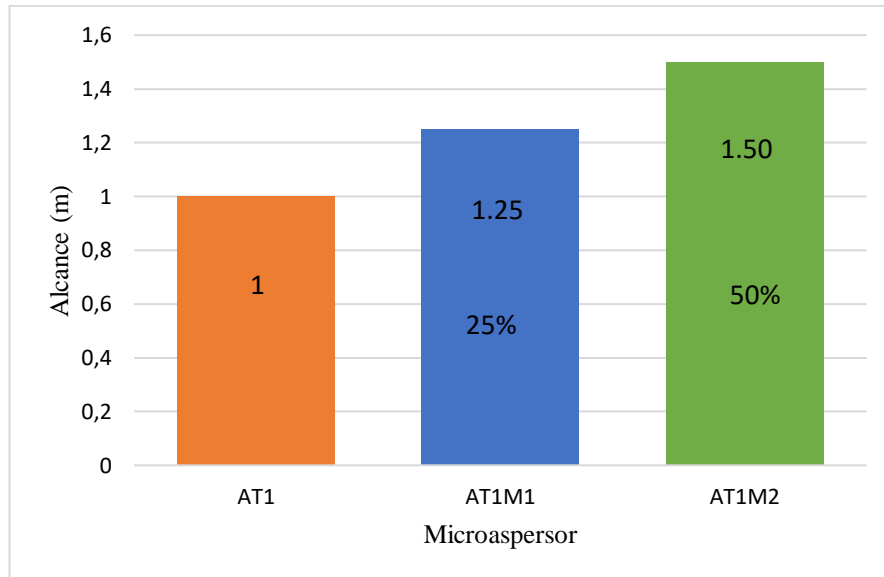


Figura 50. Alcance Aspersor 1

En la Figura 50 se puede observar que el alcance del aspersor 1 en la modificación 2 es la que tiene una mayor distancia de agua abasteciendo a un radio de alcance de 1.5m en comparación al diseño de origen, esto nos quiere decir que realizando este cambio se genera un aumento del 50% en cuanto a la distancia que llega el agua hasta las diferentes plantas de papa.

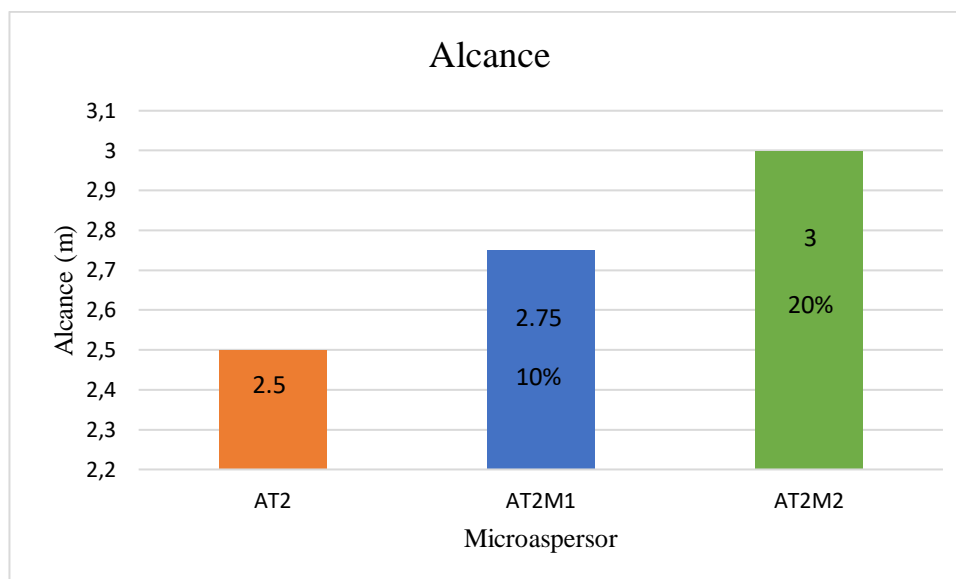


Figura 51. Alcance Aspersor 2

La Figura 51 se puede observar que el alcance del aspersor dos en la modificación 2 tiene una distancia de suministro de agua mayor de 3.5 metros que el diseño original, lo que significa que estos cambios producen un aumento del 40% en la distancia que el agua llega a las plantas de papa.

3.7.Verificación de la hipótesis

Tabla 15. Cuadro comparativo de velocidades con el alcance de aspersión obtenidos mediante CFD.

Microaspersor	Presión de trabajo 20 (Psi)			Alcance (m)
	Velocidad min	Velocidad máx.	Velocidad Prom.	
AT1	3.95	6.32	5.135	1
AT1M1	3.98	6.37	5.175	1.25
AT1M2	3.88	6.61	5.245	1.5
AT2	2.36	2.38	2.37	2.5
AT2M1	2.38	2.39	2.385	2.75
AT2M2	1.65	2.32	1.985	3

Para el análisis de los resultados se realizó las gráficas en el cual se pudo ir comparando los resultados obtenidos pero el más ideal y que tiene buenos desempeños en los resultados es el aspersor dos con la modificación que se hizo, pero para grandes

extensiones de terrenos es necesario que el aspersor seleccionado tenga el mayor alcance posible para así disminuir la cantidad de aspersores.

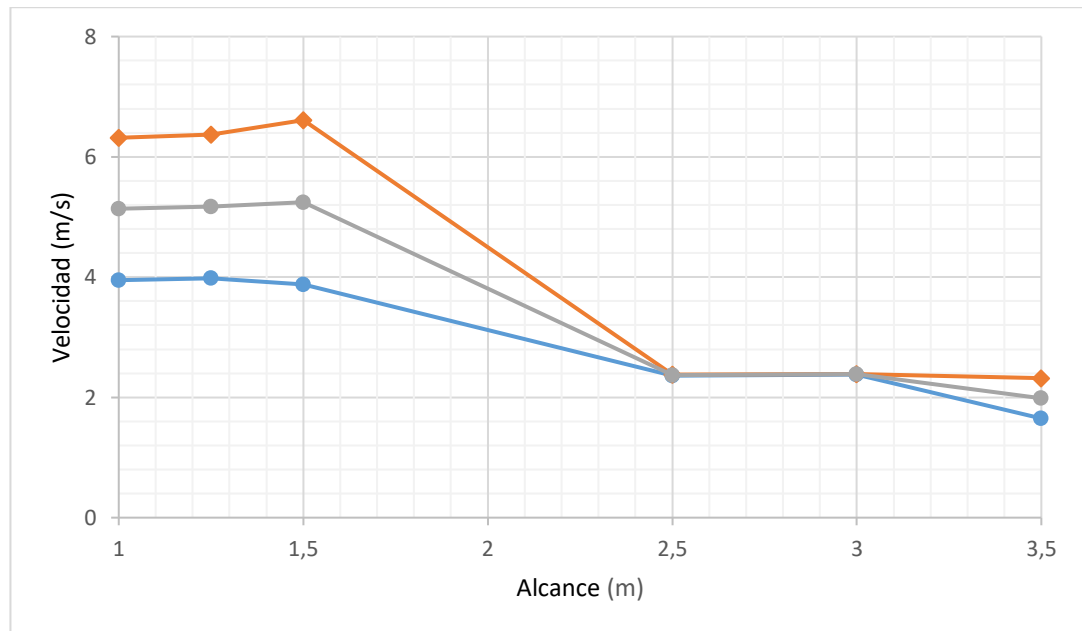


Figura 52. Grafica velocidades vs alcance de aspersión

En la Figura 52 se puede apreciar las curvas comparativas de los tipos de aspersor, se puede evidencia que en el aspersor uno a una velocidad máxima de 6.61 m/s se obtiene un alcance de 1.5 m, comparándole con el aspersor dos que tiene una velocidad máxima 3.32 m/s tenemos un alcance de 3 m estos nos quieren decir que el aspersor dos tiene un mayor alcance, por lo que para el cultivo de papas en la parroquia Tanicuchi es adecuado utilizar dichos aspersores para abastecer el área de los cultivos.

Finalmente podemos decir que la hipótesis H_0 que se ha planteado en este estudio es correcta ya que por medio de un buen análisis fluido dinámico computacional se pueden realizar cambios en la geometría interna llegando a la conclusión que es efectivo realizar estos análisis, por lo cual la hipótesis H_1 es rechazada.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Entre los tipos de aspersores para el cultivo, los más utilizados son los microaspersores ya que por su sistema de regulación de agua, y su alcance llega hasta los cinco metros abasteciendo un área recomendable, estos dispositivos se diferencian unos con otros por la geometría interna, ya que si se varia algunos parámetros en la salida del flujo de agua estos alteran la velocidad de alcance, siendo óptimos para todo el ciclo de crecimiento de la papa, el principal beneficio de los microaspersores es que sus costos están entre 1 a 4\$ y son de fácil instalación.
- Generalmente la geometría del microaspersor está constituida por tres elementos que es la cabeza, la base donde se conecta una tubería de 4/7mm y en el interior tiene una pieza móvil conocida como espiga la cual es la que genera el movimiento de aspersion a 360°, mediante la geometría de este elemento y los cambios que se hicieron en el mismo internamente se pudo detectar que cambiando la cavidad de salida de agua esta actúa como un regulador de caudal.
- El cultivo de papa en la parroquia Tanicuchi es una de las principales actividades económicas del sector, por lo que es fundamental un sistema de riego adecuado para la obtención de un producto de calidad, las condiciones iniciales desde las salida de agua de un tanque reservorio hasta cuando sale el agua por el microaspersor, determinando los parámetros iniciales como la presión que se encuentra a 20[Psi] y un caudal de 20[L/min]; estos datos también ayudaron para establecer un modelo CFD como condiciones internas para el análisis y simulación en el ANSYS Academic.
- Con respecto al modelo CFD propuesto, se encontró que el comportamiento interno del fluido depende de la espiga y su interior, lo que determina el fluido se encuentre en régimen turbulento que circula por el interior del orificio, lo que permitió realizar un cuadro comparativo de acuerdo a la velocidad y alcance de cada microaspersor; la velocidad óptima para el diseño final es de

2,32 [m/s] y un rango de 3,5 [m] entre el momento en que sale el chorro y llega a la superficie del suelo, lo que resulta en una buena nebulización.

- Para la impresión 3D se utilizó la resina Tough 2000 con excelentes propiedades mecánicas, la cual fue sometida a un ensayo a tracción la que nos arrojó una tensión máxima de 35.71MPa, lo cual nos resulta útil para el diseño con la capacidad de soportar grandes esfuerzos, además para mejorar las propiedades de la resina se realizó las curaciones en un horno eléctrico a una temperatura de 70°C por una hora, el acabado superficial resulto relativamente bueno.
- Para las pruebas de funcionamiento se utilizaron los modelos originales de los aspersores, cambiando únicamente las espigas, las cuales al momento de abrir la válvula de compuerta para activar el sistema hidráulico la aspersión resulto la idónea para el cultivo de papas.

4.2.Recomendaciones

- Para el desarrollo de nuevos modelos de microaspersores es necesario tener en cuenta principalmente las necesidades hídricas del cultivo en cuestión, de forma que se establezca un rango de actuación que permita suministrar el agua de forma adecuada y sacar el máximo partido de ella, así como asegurar la uniformidad de tipos de microaspersores para el correcto funcionamiento del sistema.
- Para evitar la obstrucción de los aspersores y garantizar el correcto funcionamiento, se recomienda limpiar la espiga minuciosamente cada vez que se ponga en servicio el sistema de riego por microaspersión.
- Realizar un estudio sobre la velocidad del viento y su efecto en el funcionamiento de los sistemas de riego por microaspersión, la distribución y uniformidad de aplicación de las gotas de agua sobre el suelo y las diversas opciones posibles para hacer frente a la acción del viento.
- Realizar futuras investigaciones para elaborar nuevos microaspersores con una mayor eficiencia en cuanto al alcance de agua ya que en su mayoría tienen un alcance máximo de 5m pues en la actualidad solo tienen esa capacidad, lo que recomienda es variar el tipo de material para la impresión 3D.

- Se recomienda continuar con los estudios sobre la tecnificación de los sistemas de riego para que los agricultores de Tanicuchi puedan mejorar su calidad de vida y su productividad.

BIBLIOGRAFÍA

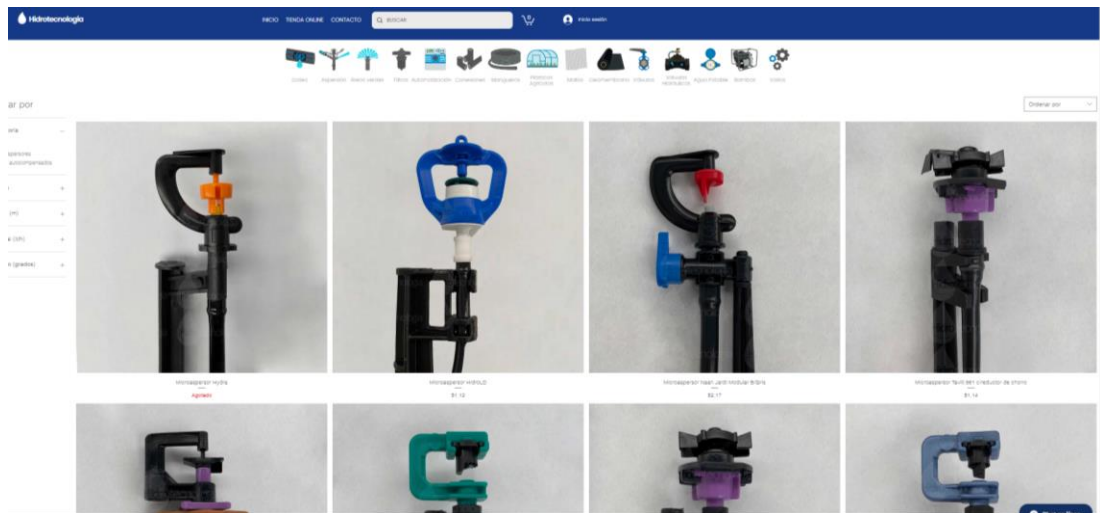
- [1] W. Baracamonte, «Dinámica de fluidos computacional aplicada al estudio del flujo sanguíneo en el cayado aórtico humano y sus principales ramas,» *Ingeniería investigación y tecnología*, 2016.
- [2] D. Cañon, «Prototipo de un sistema automatizado de riego para jardines,» FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES, Bogotá, 2018.
- [3] K. Mamarandi y L. Vargas, Análisis de flujo de fluidos en un dispositivo mecánico generador de flujo con presión positiva (CPAP) usado como alternativa en el tratamiento de pacientes con Covid 19, Ambato: UTA, 2021.
- [4] R. Fernández , C. Morillo, M. Mila, J. García y N. Oyonarte , Manual de riego para agricultores, Sevilla: Junta de Andalucía, 2010.
- [5] R. Cisneros, «Riego y Drenaje,» Universidad Autónoma de San Luis Potosi, San Luis Potosi, 2003.
- [6] M. Zambrano, «Desarrollo de prototipo en arduino para controlar el riego de plantas de forma,» UAE, Milagro, 2021.
- [7] J. Carrazón , Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego, Roma: FAO, 2007.
- [8] W. Quispe, «Construcción de un prototipo de control automático de riego tecnificado para el cultivo de quinua en el distrito de Acolla,» Universidad Continental, Huancayo, 2019.
- [9] FAO, «El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para alimentación y la agricultura,» Mundi-Prensa, Madrid, 2012.
- [10] G. Castellón, R. Bernal y M. d. L. Hernández.
- [11] Red de BPA, «Buenas Prácticas Agrícolas: Lineamientos de Base,» BPA, Buenos Aires, 2015.
- [12] Ministerio de Agricultura, ganadería, acuicultura y pesca, «Plan nacional de riego y drenaje,» El gobierno de todos, Ambato, 2011.
- [13] ONU, «Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2018: soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del

- agua,» WWDR, Buenos Aires, 2018.
- [14] «Impacto ambiental de la contaminación hídrica producida por la refinería estatal Esmeraldas,» Naciones Unidas, Santiago de Chile , 1990.
- [15] C. Valledupar , «Estimación de la demanda de agua,» IDEAM, Santiago, 2010.
- [16] Banco Mundial, «Banco Mundial,» BIR AIF, 14 Julio 2021. [En línea]. Available: <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2021/07/14/en-ecuador-el-riego-tecnificado-equivale-a-cultivos-m-s-sostenibles-y-mejor-alimentaci-n>.
- [17] A. Bárcena, «Reflexiones sobre la gestión del agua en América Latina y el Caribe,» CEPAL, Santiago de Chile, 2021.
- [18] P. Demin, «Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego,» INTA, Catamarca, 2014.
- [19] E. Poveda, «Diseño y fabricación de un micro aspersor con una presión de trabajo entre 10 a 30 PSI para un sistema de riego de cultivos de pera de la parroquia de Huachi Grande,» UTA, Ambato, 2017.
- [20] G. Cayo y J. Segovia, «Prototipo de control de riego tecnificado aplicando la tecnología de Arduino,» *Investig. Altoandin*, vol. 17, n° 1, pp. 95-102, 2015.
- [21] FlowXplore, «FlowXplore,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.flowxplore.com/heat.php>. [Último acceso: 15 Junio 2022].
- [22] MAGAP, 2020. [En línea]. Available: <https://www.agricultura.gob.ec/ecuador-se-proyecta-a-ser-exportador-de-papa/>. [Último acceso: 25 Mayo 2022].
- [23] República del Ecuador, «La política agropecuaria ecuatoriana,» Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, Quito, 2016.
- [24] Proain, «El cultivo de la papa y la importancia del agua,» 22 Octubre 2020. [En línea]. Available: <https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/el-cultivo-de-la-papa-y-la-importancia-del-agua>.
- [25] J. Guerrero, M. Cabezas y J. Galvis, «Efecto de dos sistemas de riego sobre la producción y uso eficiente del agua en el cultivo de papa variedad diacol capiro,» *RIAA*, vol. 11, n° 1, pp. 41-51, 2019.
- [26] P. Torres , «Estudio experimental y computacional mediante CFD ANSYS del

- flujo de aire a través de techos de edificaciones usando un túnel de viento,» UPS, Cuenta, 2015.
- [27] S. Costarelli, «Resolución de las ecuaciones de Navier-Stokes utilizando CUDA,» Universidad Nacional del Litoral, 2011.
- [28] ESSS, «ESSS,» 17 Julio 2022. [En línea]. Available: <https://www.esss.co/es/blog/dinamica-de-fluidos-computacional-que-es/>.
- [29] M. Ordoñez y A. Sócrates, «Modelización CFD para determinar el comportamiento del fluido en tuberías de,» *Dominio de la ciencia*, vol. IV, nº 1, pp. 434-446, 2017.
- [30] C. Montagud, «Modelado CFD del flujo no reactivo en la cámara de combustión de motores aeroderivados mediante mallado adaptativo,» UPV, Valencia, 2018.
- [31] G. Gónzales, P. Natalia y I. Mercado, «Large Eddy Simulation (LES) Aplicado a un lecho fluidizado gas – sólido. Parte I: Reactor a escala de laboratorio,» *UIS*, vol. II, nº 1, pp. 1-12, 2017.
- [32] G. Morales, H. Chávez y A. Montaña, «Modelado computacional Reynolds-Averaged Navier-Stokes flamelets para el estudio del proceso de combustión turbulenta de sprays,» *Revista mexicana de física*, vol. 66, nº 1, 2020.
- [33] INTAGRI, «INTAGRI,» 12 Julio 2018. [En línea]. Available: <https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/diseno-agronomico-del-sistema-de-riego-por-goteo>.
- [34] F. Riaño, «Antecedentes de la conocida ecuación de Bernoulli,» *riha*, vol. 41, nº 1, pp. 71-84, 2020.
- [35] GAD Tanicuchi, «GAD Tanicuchi,» Lasso, 2023.
- [36] R. Mott y J. Untener, *Mecánica de fluidos*, Mexico: Pearson, 2015.
- [37] F. Riaño, «Antecedentes de la conocida ecuación de Bernoulli,» *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, vol. 41, 2020.

ANEXOS

Anexo 1. Catálogo de microaspersores Hidrotecnología.



Anexo 2. Proceso de fabricación Impresión Formlabs 3D



Anexo 3. Ensayos a tracción resina Tough 2000



Anexo 4. Microaspersores producto final



Anexo 5. Características técnicas de impresora 3D



- Sensores tipo ópticos: corrigen de forma continua la escala, potencia y pueden detectar polvo en el ambiente.
- Sustitución rápida de resina con el sistema de cartucho simple.

Especificaciones Técnicas de Form 3+

- **Tecnología:** Estereolitografía de baja fuerza LFS.
- **Resolución XY:** 25 micras.
- **Tamaño del punto láser:** 85 micras.
- **Potencia láser:** 250 mW.
- **Volumen de construcción:** 14.5 x 14.5 x 18.5 cm.
- **Espesor de capa:** 25 - 300 micras.
- **Sistema de llenado de resina:** Automático
- **Control de temperatura:** Cámara de impresión calentada por aire.
- **Requerimientos de energía:** 100-240 VCA, 2.5 A 50/60 Hz 220 W.
- **Especificaciones del láser:** 1 unidad de procesamiento luz EN 60825-1:2007 (Clase 1) certificado, longitud de onda de 405 nm, 250 mW de potencia, punto láser de 85 micras.
- **Conectividad:** Wi-Fi (2.4, 5GHz), Ethernet (1000 Mbit), USB 2.0.
- **Control de la impresora 3D:** Pantalla Táctil interactiva de 5.5" (1280 x 720) de resolución.
- **Alertas:** SMS/ correo electrónico, dos indicadores led de estado y alatavoz para alertas de audio.
- **Requisitos de Sistema:** Windows 7 (64 bits) y posteriores, Mac OS X 10.10 y posteriores, OpenGL 2.1, 4 GB de RAM.

Anexo 6. Cartucho resina Tough 2000

Propiedades	Tough 2000	Tough	Mejora (%)
Alargamiento a la rotura (%)	48	23	109
Módulo de Tracción (MPa)	65	57	14
Módulo de Flexión (%)	1.9	1.6	19
Temperatura de flexión bajo carga a 1.8 MPa (°C)	53	43	23
Temperatura de flexión bajo carga a 0.45 MPa (°C)	63	47	34

La resina Tough 2000 **simula las propiedades del ABS**; un material ampliamente utilizado en el ámbito industrial por sus elevadas propiedades mecánicas.

Gracias sus **propiedades mecánicas mejoradas y a su buena resolución de impresión** (admite resoluciones de 100 y 50 micras), la resina Tough 2000 es adecuada para gran variedad de aplicaciones en ámbitos como la **ingeniería**. Es un material idóneo para la **fabricación de prototipos sometidos a desgaste, conectores mecánicos, carcasas, etc.**



Anexo 7. Ficha técnica Resina Tough 2000

Datos de las propiedades de la Tough 2000 Resin

	MÉTRICO ¹		IMPERIAL ¹		MÉTODO
	No poscurada ²	Poscurada ²	No poscurada ²	Poscurada ²	
Propiedades mecánicas					
Resistencia a la rotura por tracción	29 MPa	46 MPa	4206 psi	6671 psi	ASTM D 638-14
Módulo de tracción	1,2 GPa	2,2 GPa	174 ksi	329 ksi	ASTM D 638-14
Alargamiento de rotura	74 %	48 %	74 %	48 %	ASTM D 638-14
Propiedades de flexión					
Resistencia a la flexión	17 MPa	65 MPa	2465 psi	9427 psi	ASTM D 790-15
Módulo de flexión	0,45 GPa	1,9 GPa	65 ksi	275 ksi	ASTM D 790-15
Propiedades de impacto					
Resiliencia IZOD	79 J/m	40 J/m	1,5 ft-lb/in	0,75 ft-lb/in	ASTM D256-10
Resiliencia IZOD no entallada	208 J/m	715 J/m	3,9 ft-lb/in	13 ft-lb/in	ASTM D4812-11
Propiedades térmicas					
Temperatura de flexión bajo carga a 1,8 MPa	42 °C	53 °C	108 °F	127 °F	ASTM D 648-16
Temperatura de flexión bajo carga a 0,45 MPa	48 °C	63 °C	118 °F	145 °F	ASTM D 648-16
Coefficiente de expansión térmica	107 µm/m°C	91 µm/m°C	59 µin/in°F	50 µin/in°F	ASTM E 831-13

¹ Las propiedades pueden variar en función de la geometría de la pieza, la orientación y ajustes de impresión y la temperatura.

² Datos obtenidos de piezas no poscuradas, impresas con la Form 2, a 100 µm, con ajustes para Tough 2000 Resin y lavadas y secadas al aire sin poscurado.

³ Datos obtenidos de piezas impresas con la Form 2, a 100 µm y con ajustes para Tough 2000 Resin. Las piezas se han sometido a un poscurado con una Form Cure a 80 °C durante 120 minutos.

Compatibilidad de los disolventes

Incremento de peso porcentual a lo largo de 24 horas de un cubo impreso de 1 x 1 x 1 cm, poscurado y sumergido en el disolvente respectivo:

Disolvente	Incremento de peso en 24 h (%)	Disolvente	Incremento de peso en 24 h (%)
Ácido acético, 5 %	0,71	Péroxido de hidrógeno (3 %)	0,63
Acetona	18,82	Isotano	0,03
Alcohol isopropílico	3,7	Aceite mineral ligero	0,13
Lejía, ~5 % NaOCl	0,56	Aceite mineral pesado	0,17
Acetato de butilo	6,19	Agua salada (3,5 % NaCl)	0,56
Diésel	0,06	Hidróxido de sodio (0,025 %, pH = 10)	0,61
Éter monometílico de dietilenglicol	5,32	Agua	0,61
Aceite hidráulico	0,08	Xileno	4,1
Skydrol 5	0,87	Ácido fuerte (HCl concentrado)	3,01

Máquinas electromecánicas de ensayo universal ♦ Shimadzu ♦ AGS-X

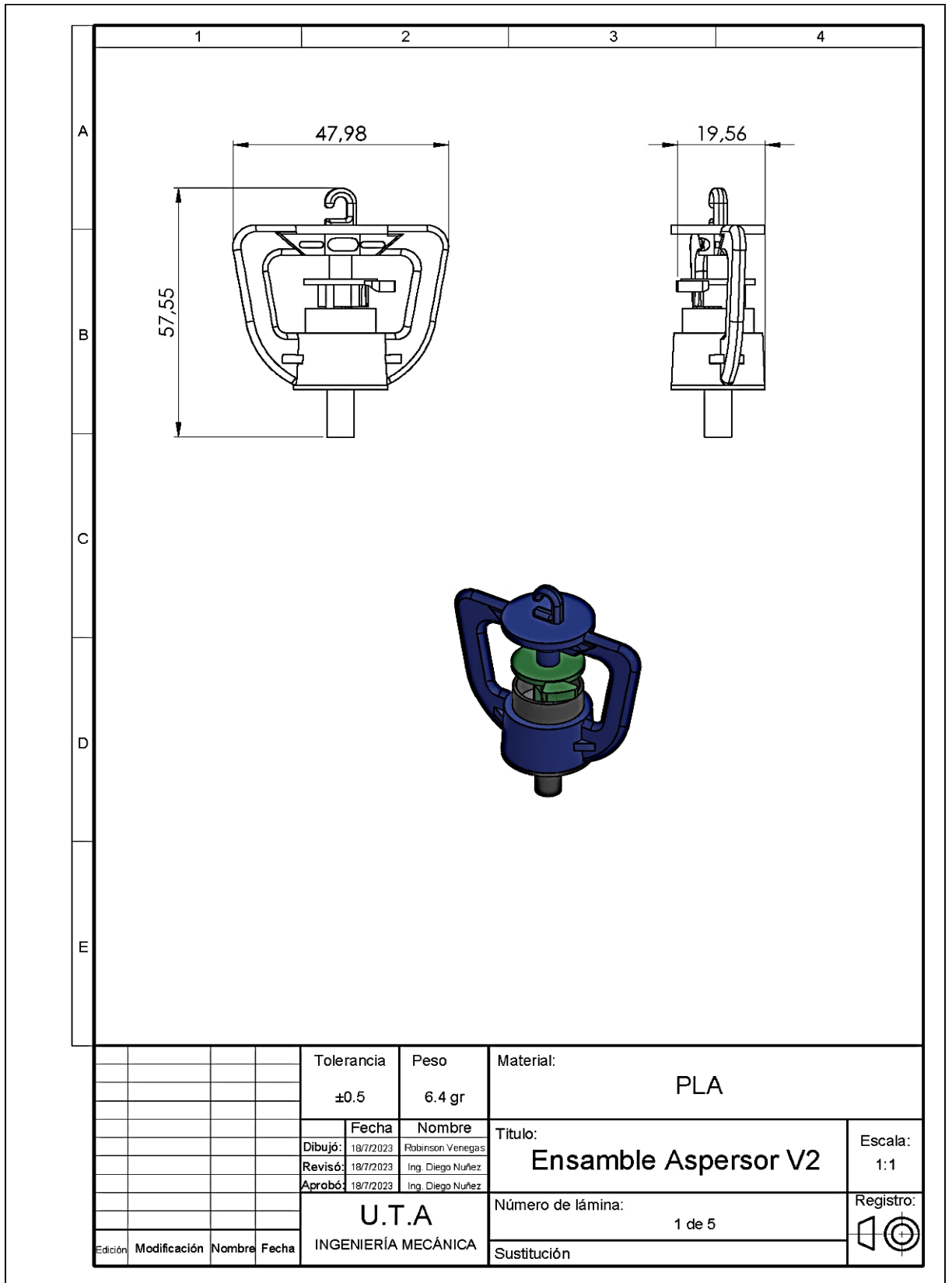
AGS-X

CARACTERÍSTICAS

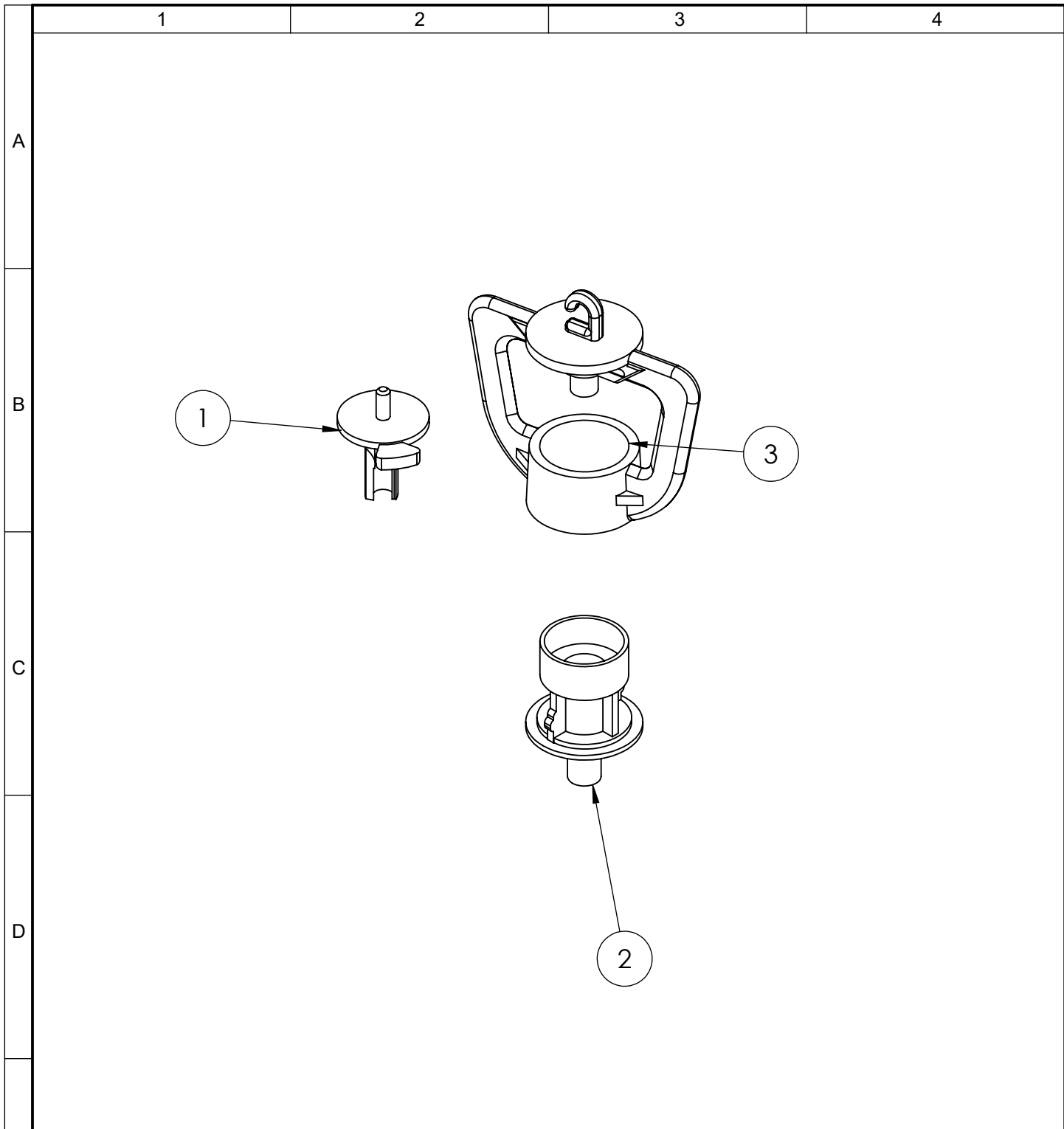
NOTAS Y APLICACIONES

- Capacidad de carga de 1N a 10kN/20kN/50kN
- Precisión de célula de carga mejor que $\pm 0.5\%$ hasta 1/500
- Muestreo real: 1000 datos / segundo por canal sin límite de tiempo en todos los canales
- Panel de membrana de control de ensayo sin conexión a pc
- Control automático en ensayos por carga o tensión o deformación
- Conexión máquina- pc vía USB2, sin tarjetas adicionales en pc
- Diseño ergonómico
- Puerta de seguridad de serie con sistema de parada de máquina por apertura
- Función de descarga automática de precarga antes del ensayo producida por el apriete de la mordazas
- Rango de Velocidad de ensayos 0,001mm/min. a 1000mm/min. sin límite en carga
- Rigidez de estructura declarada en todos los modelos
- Única con dos pulsadores de seguridad, uno a cada lado
- Servomotor libre de mantenimiento
- Puerta de seguridad (Opcional)
- Software Trapezium X en castellano (Opcional)

PLANOS

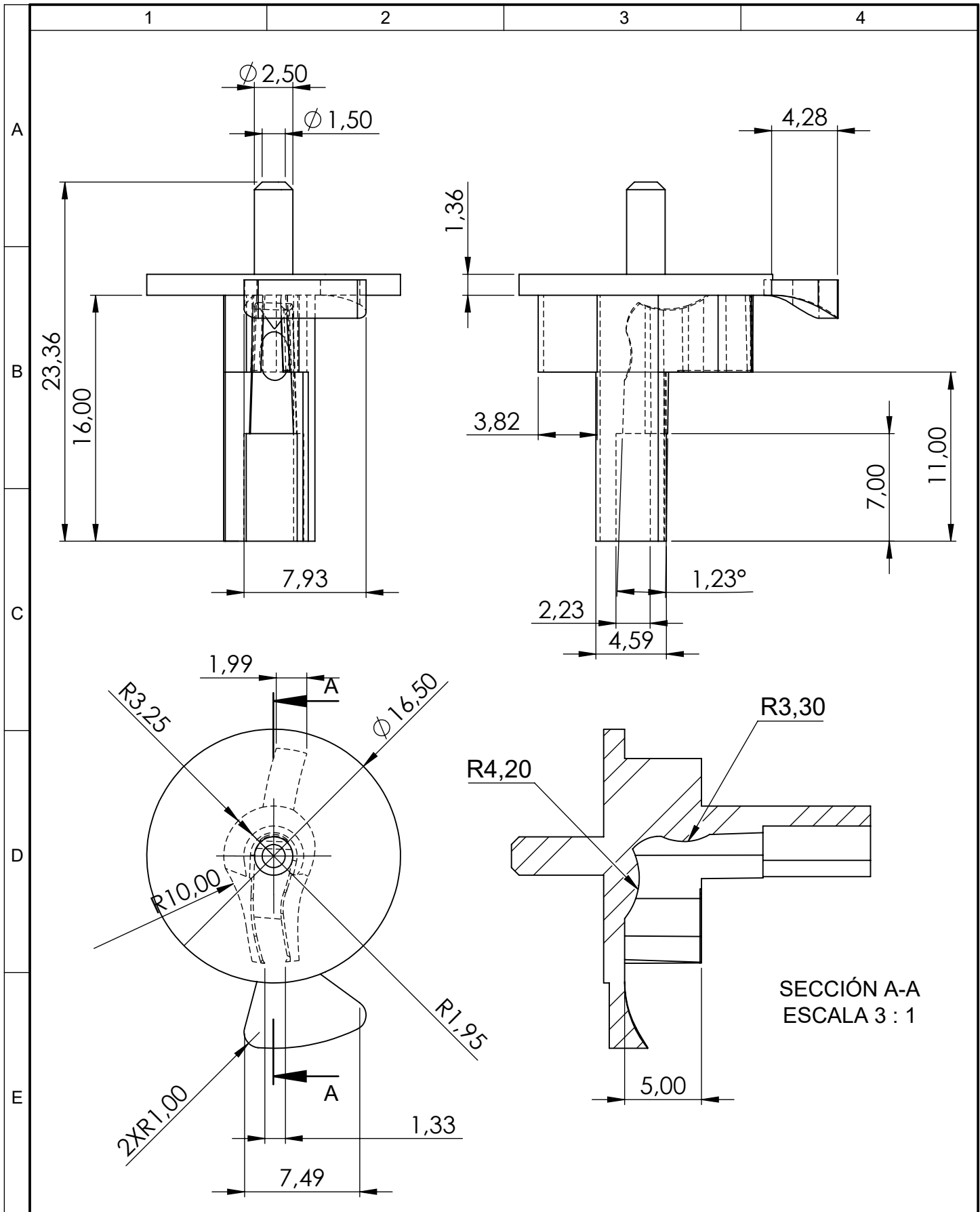


				Tolerancia	Peso	Material:		
				±0.5	6.4 gr	PLA		
					Fecha	Nombre	Título:	
				Dibujó:	18/7/2023	Robinson Venegas	Ensamble Aspersor V2	
				Revisó:	18/7/2023	Ing. Diego Nuñez		Escala: 1:1
				Aprobó:	18/7/2023	Ing. Diego Nuñez		Registro:
				U.T.A		Número de lámina:	1 de 5	
				INGENIERÍA MECÁNICA		Sustitución		
Edición	Modificación	Nombre	Fecha					

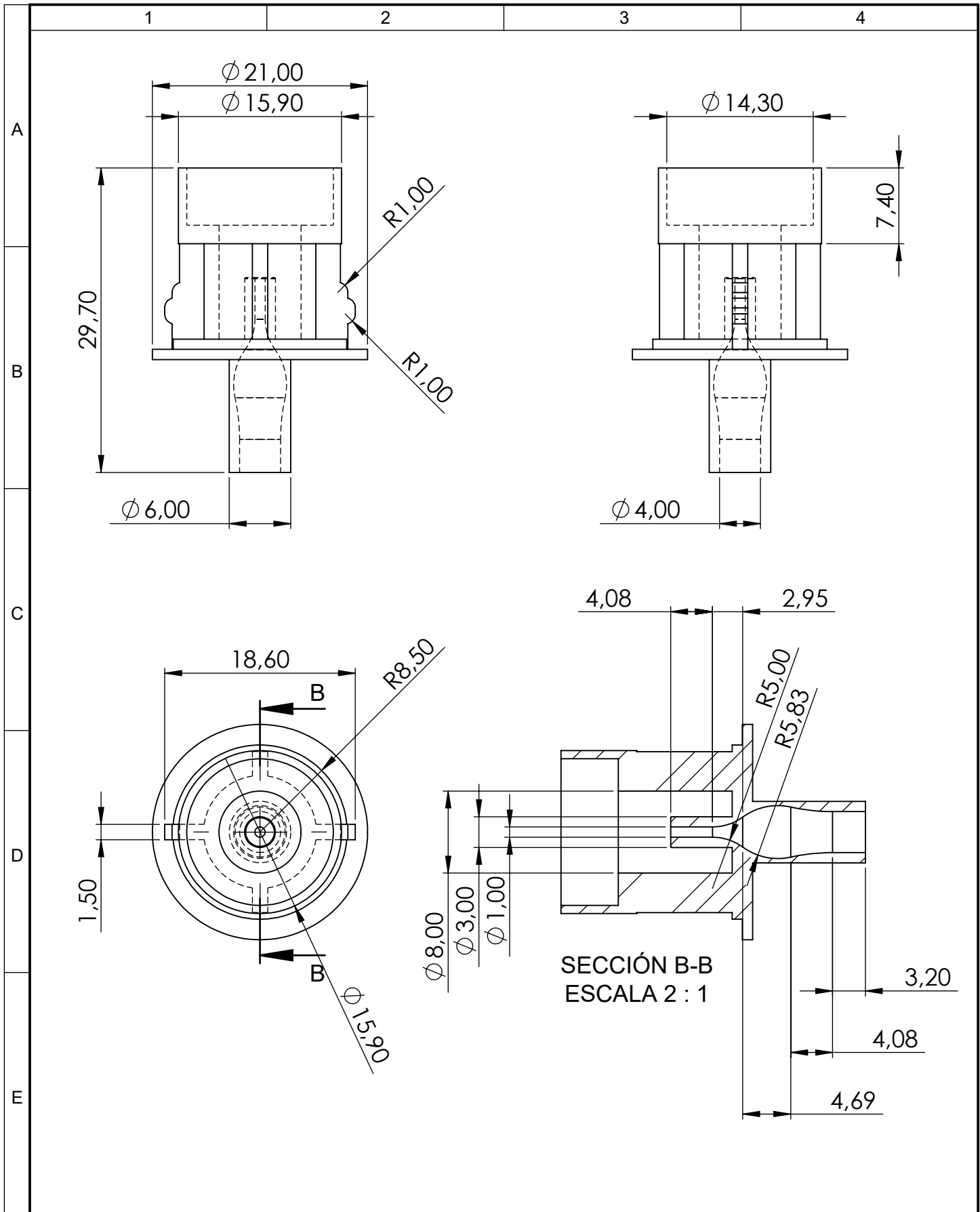


N.º de orden	N.º de pieza	Denominación	Material	Observaciones
1	1	Asensor	PLA	
2	1	Base	PLA	
3	1	Cabeza	PLA	

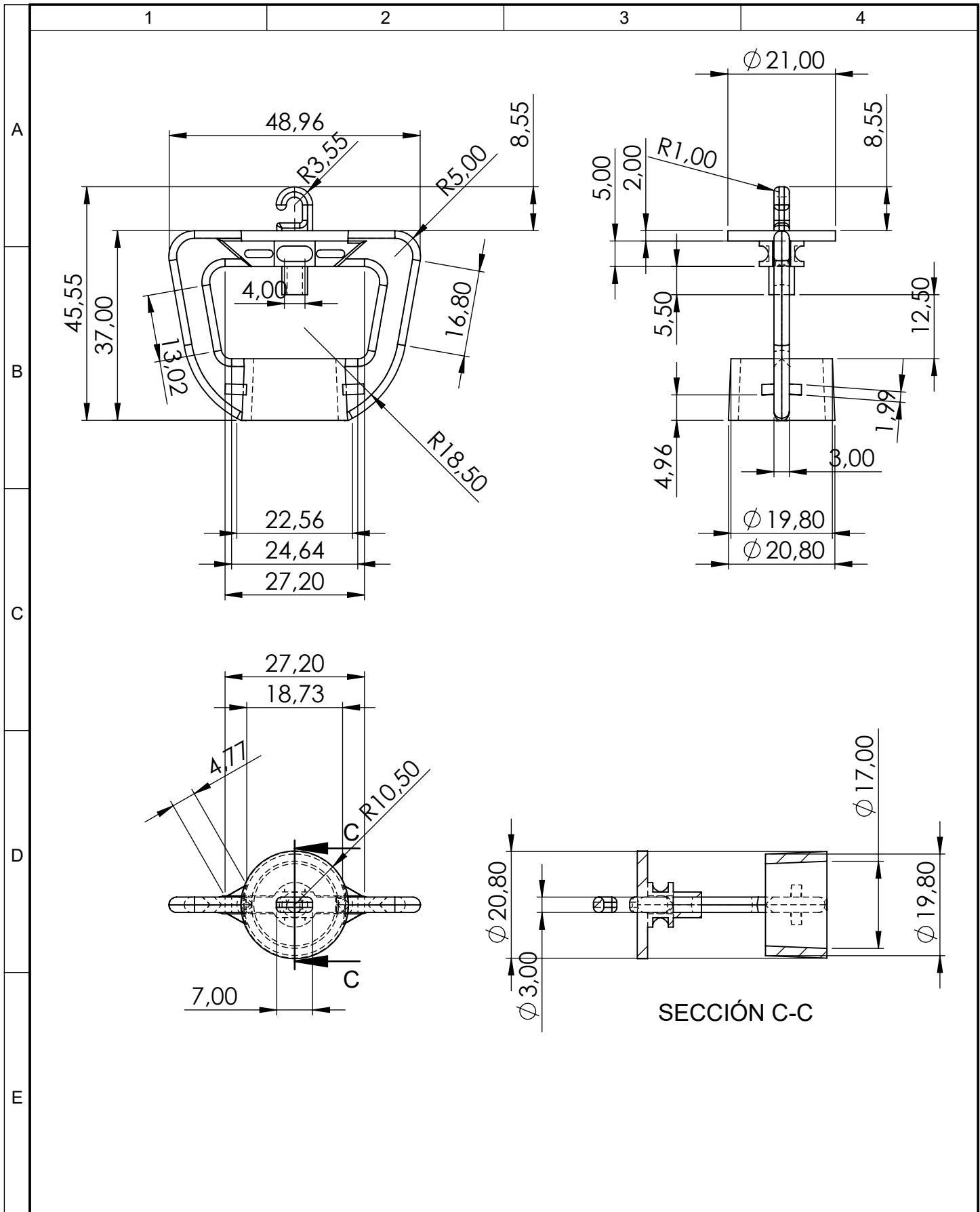
				Tolerancia	Peso	Material:	
				±0.5	6.4 gr	PLA	
				Fecha	Nombre	Titulo: Ensamble Aspersor V2	Escala: 1:1
				Dibujó: 18/7/2023	Robinson Venegas		
				Revisó: 18/7/2023	Ing. Diego Nuñez		
				Aprobó: 18/7/2023	Ing. Diego Nuñez		
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		Número de lámina:	Registro:
						2 de 5	
Edición	Modificación	Nombre	Fecha	Sustitución			



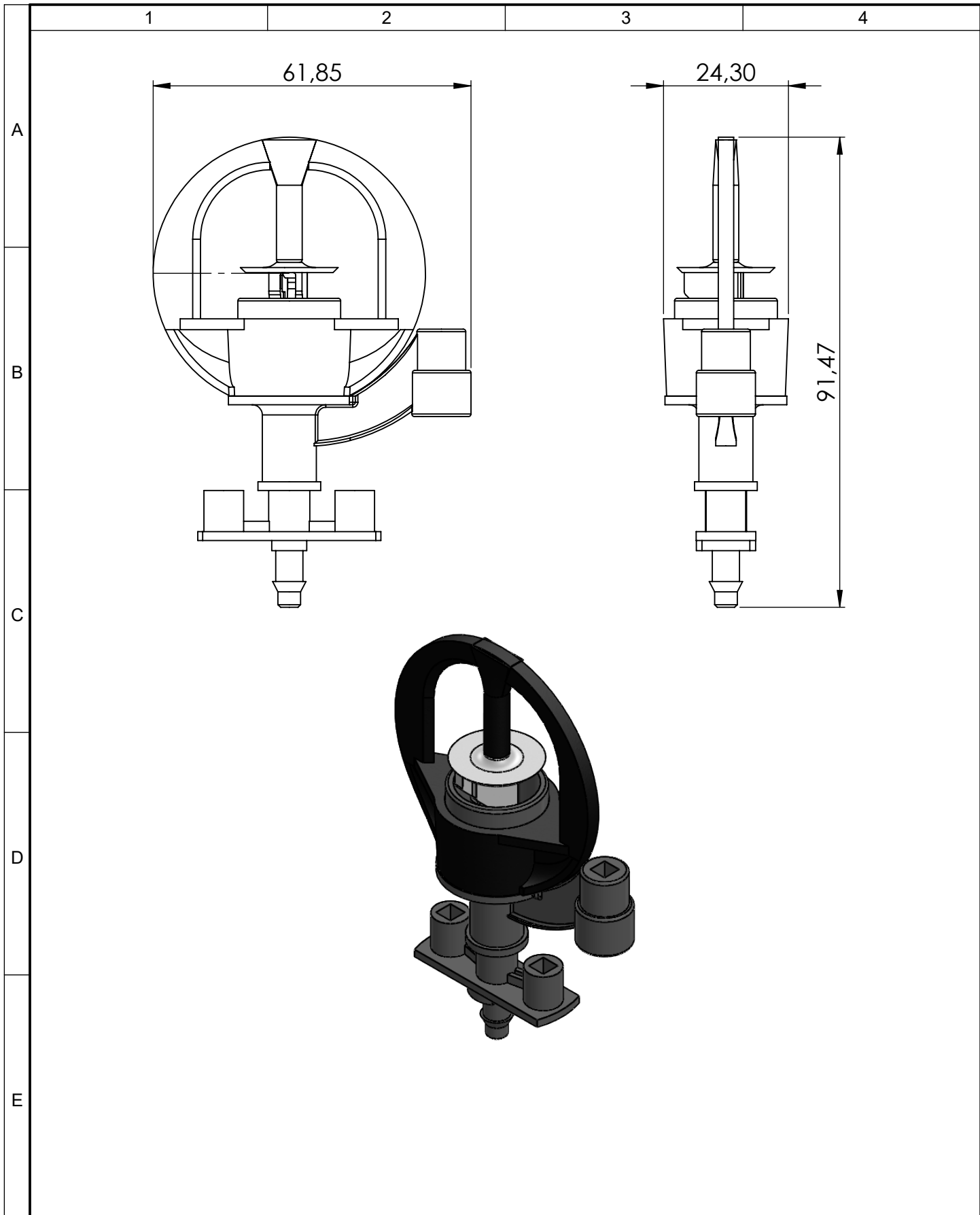
				Tolerancia $\pm 0,5$	Peso 0.7 gr	Material: Resina Tough 2000	
				Fecha	Nombre	Titulo: Asensor V2	Escala: 3:1
				Dibujó: 18/7/2023	Robinson Venegas		
				Revisó: 18/7/2023	Ing. Diego Nuñez		
				Aprobó: 18/7/2023	Ing. Diego Nuñez		
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		Número de lámina: 3 de 5	Registro:
Edición	Modificación	Nombre	Fecha			Sustitución	

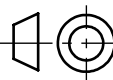


				Tolerancia	Peso	Material:	
				$\pm 0,5$	1,7 gr	PLA	
				Fecha	Nombre	Titulo:	
				Dibujó: 18/7/2023	Robinson Venegas	Base V2	
				Revisó: 18/7/2023	Ing. Diego Nuñez		
				Aprobó: 18/7/2023	Ing. Diego Nuñez		
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		Número de lámina:	
						4 de 5	
Edición	Modificación	Nombre	Fecha			Registro:	

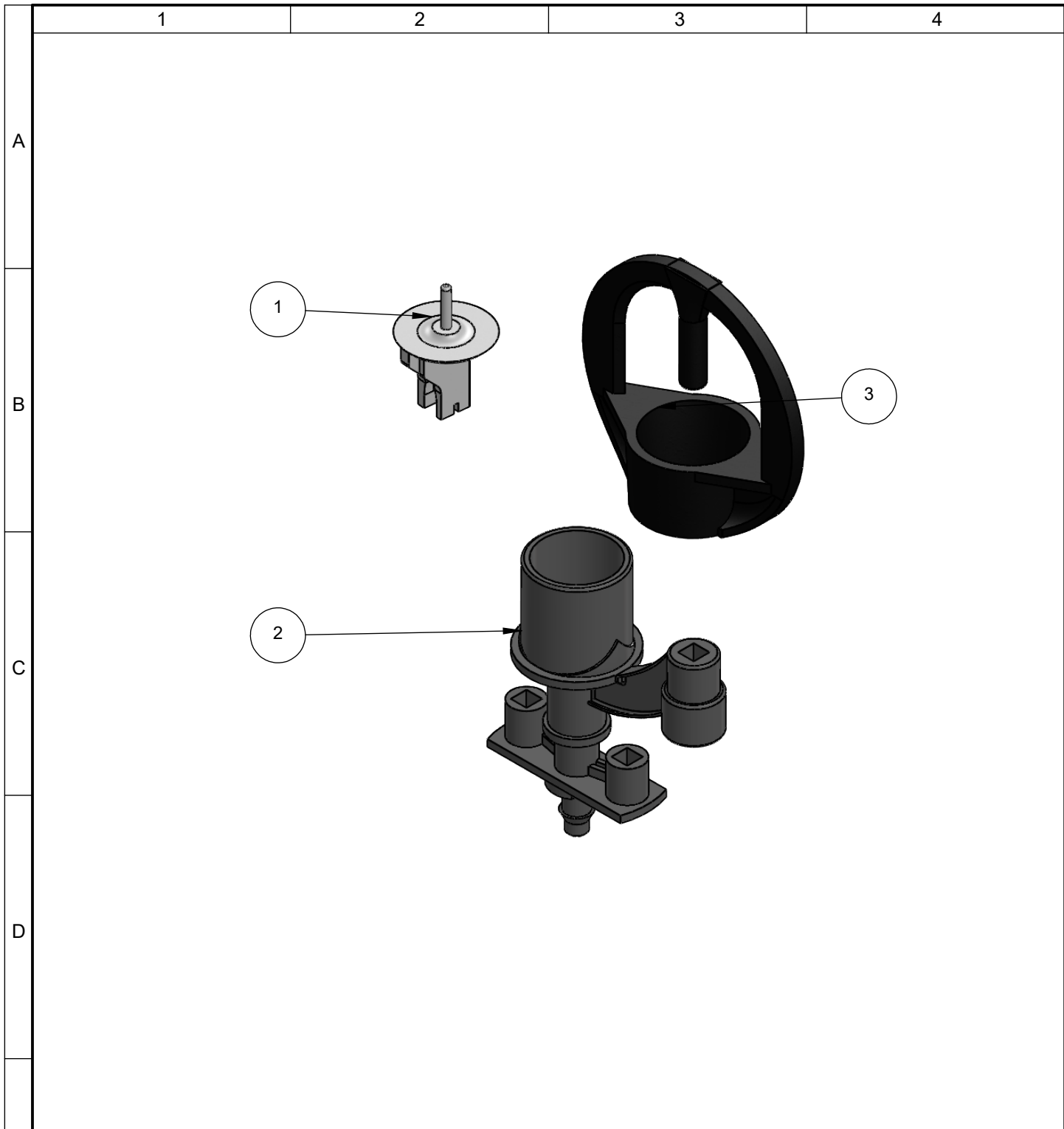


				Tolerancia ±0.5	Peso 4.08 gr	Material: PLA		
						Titulo: Cabeza V2	Escala: 1:1	
				Dibujó:	18/7/2023		Robinson Venegas	
				Revisó:	18/7/2023		Ing. Diego Nuñez	
				Aprobó:	18/7/2023	Ing. Diego Nuñez		
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		Número de lámina: 5 de 5	Registro: 	
Edición	Modificación	Nombre	Fecha			Sustitución		



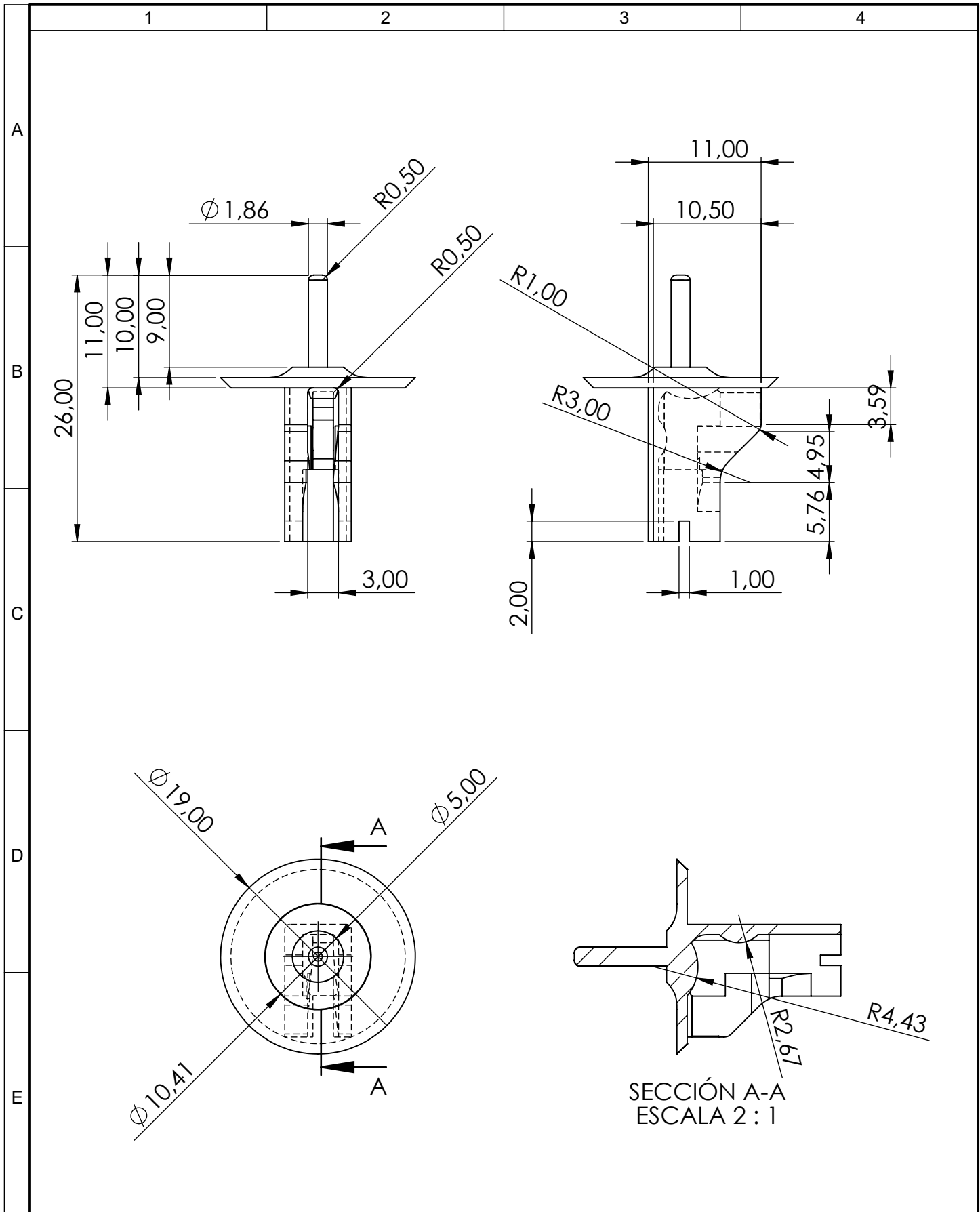
				Tolerancia	Peso	Material:	
				±0.5	14.42 gr	PLA	
				Fecha	Nombre	Titulo:	Escala:
			Dibujó:	13/7/2023	Robinson Venegas		
			Revisó:	13/7/2023	Ing. Diego Nuñez		
				Aprobó:	13/7/2023	Ing. Diego Nuñez	Registro:
				U.T.A		Número de lámina:	
				INGENIERÍA MECÁNICA		1 de 5	
Edición	Modificación	Nombre	Fecha	Sustitución			

Ensamble Aspersor

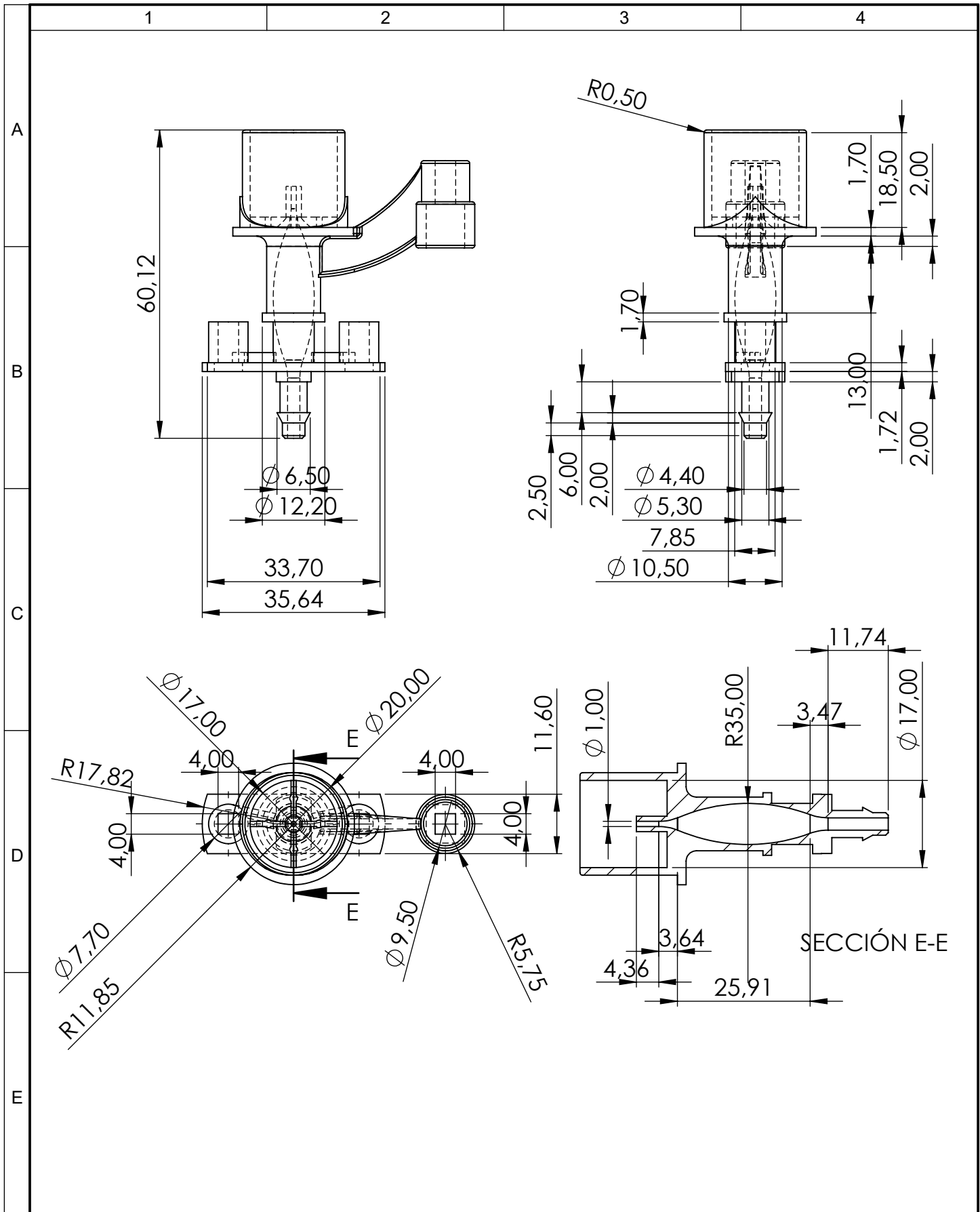


N.º de orden	N.º de pieza	Denominación	Material	Observaciones
1	1	Asensor	PLA	
2	1	Base	PLA	
3	1	Cabeza	PLA	

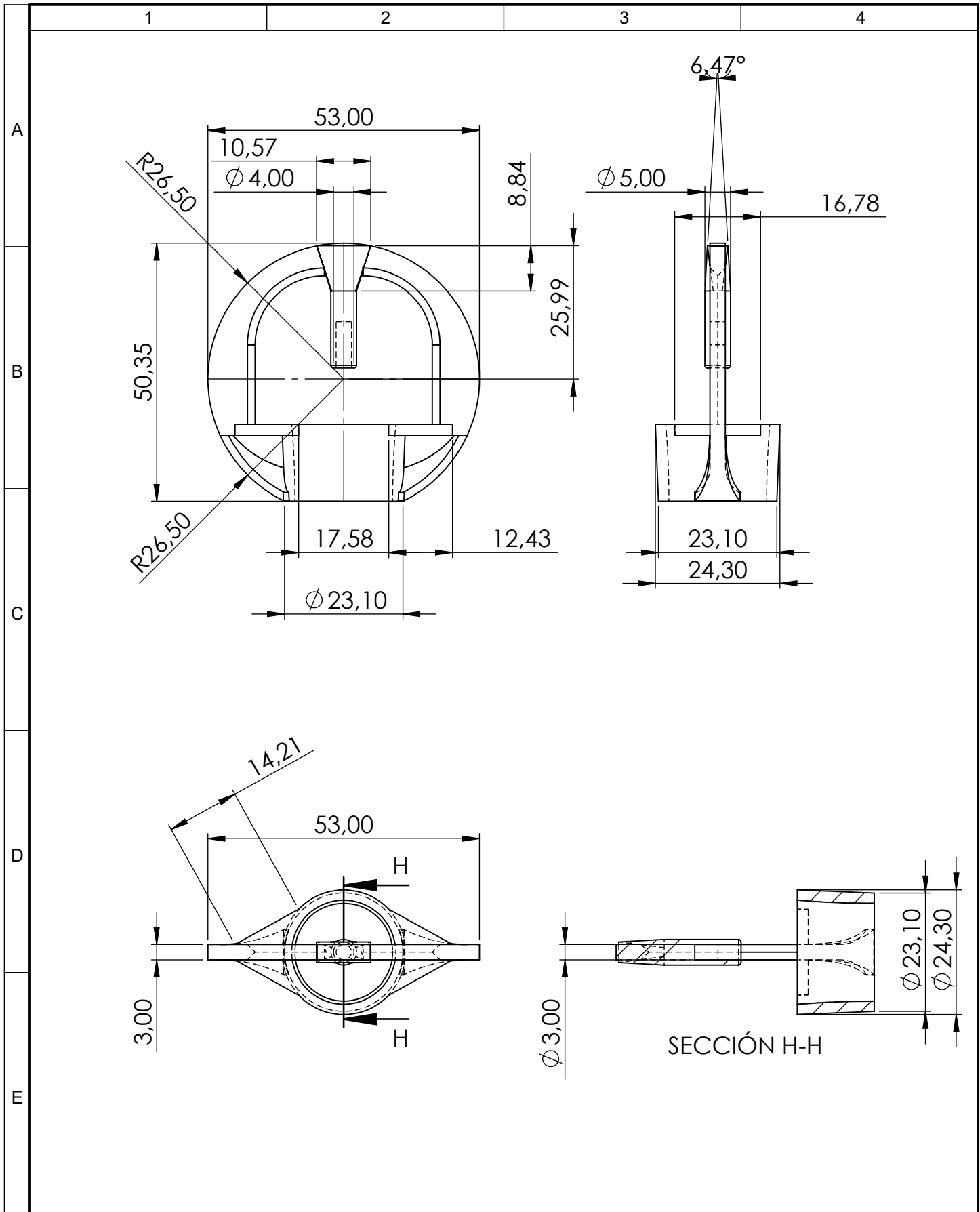
				Tolerancia	Peso	Material:			
				±0.5	14.42 gr	PLA			
				Fecha	Nombre	Titulo:	Escala:		
				Dibujó: 13/7/2023	Robinson Venegas			Ensamble Aspensor	1:1
				Revisó: 13/7/2023	Ing. Diego Nuñez				
				Aprobó: 13/7/2023	Ing. Diego Nuñez				
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		Número de lámina:	Registro:		
						2 de 5			
Edición	Modificación	Nombre	Fecha	Sustitución					



				Tolerancia $\pm 0,5$	Peso 0.8 gr	Material: Resina Tough 2000	
						Titulo: Asensor	Escala: 2:1
				Dibujó: 13/7/2023	Nombre Robinson Venegas		
				Revisó: 13/7/2023	Ing. Diego Nuñez		
				Aprobó: 13/7/2023	Ing. Diego Nuñez		
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		Número de lámina: 3 de 5	Registro:
Edición	Modificación	Nombre	Fecha			Sustitución	



				Tolerancia	Peso	Material:	
				± 0.5	6.4 gr	PLA	
				Fecha	Nombre	Titulo:	
				Dibujó: 13/7/2023	Robinson Venegas	Base	
				Revisó: 13/7/2023	Ing. Diego Nuñez	Escala:	
				Aprobó: 13/7/2023	Ing. Diego Nuñez	1:1	
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		Número de lámina:	
						4 de 5	
Edición	Modificación	Nombre	Fecha	Sustitución			



				Tolerancia	Peso	Material:	
				$\pm 0,5$	5.12 gr	PLA	
				Fecha	Nombre	Titulo:	
				Dibujó: 13/7/2023	Robinson Venegas	Cabeza	
				Revisó: 13/7/2023	Ing. Diego Nuñez	Escala:	
				Aprobó: 13/7/2023	Ing. Diego Nuñez	1:1	
				U.T.A		Número de lámina:	
				INGENIERÍA MECÁNICA		5 de 5	
Edición	Modificación	Nombre	Fecha	Sustitución		Registro:	