

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y
MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA
MECÁNICA**

**PROYECTO TÉCNICO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

TEMA:

**DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN MICRO ASPERSOR CON UNA PRESIÓN
DE TRABAJO ENTRE 10 A 30 PSI PARA UN SISTEMA DE RIEGO EN
CULTIVOS DE PERA DE LA PARROQUIA HUACHI GRANDE.**

AUTOR: Eric Andrés Poveda Yánez

TUTOR: Ing. MSc. Diego Núñez Nuñez

AMBATO – ECUADOR

2017

CERTIFICACIÓN

En calidad de tutor del trabajo técnico, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, con el tema: “DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN MICRO ASPERSOR CON UNA PRESIÓN DE TRABAJO ENTRE 10 A 30 PSI PARA UN SISTEMA DE RIEGO EN CULTIVOS DE PERA DE LA PARROQUIA HUACHI GRANDE”. Elaborado por el señor Eric Andrés Poveda Yáñez, Estudiante de la facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Certifico:

Que la presente tesis es original de su autor.

Ha sido revisado cada uno de sus capítulos.

Es concluida y puede continuar con el trámite correspondiente.

Ambato, Marzo del 2017

EL TUTOR

Ing. MSc. Diego Núñez Nuñez

AUTORÍA

Declaro que el contenido del proyecto técnico: “DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN MICRO ASPERSOR CON UNA PRESIÓN DE TRABAJO ENTRE 10 A 30 PSI PARA UN SISTEMA DE RIEGO EN CULTIVOS DE PERA DE LA PARROQUIA HUACHI GRANDE”, así como sus ideas, opiniones, resultados, conclusiones, son auténticos y de responsabilidad exclusiva de mi persona en calidad de autor del proyecto.

Ambato, Marzo del 2017

EL AUTOR

Eric Andrés Poveda Yánez

C. I.: 180451523-5

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este proyecto técnico 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 proyecto técnico con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de éste documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando ésta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Marzo del 2017

EL AUTOR

Eric Andrés Poveda Yáñez

C. I.: 180451523-5

DEDICATORIA

Dedico este logro a mis padres Fanny y Heriberto que han sido el pilar fundamental no solo en mi vida estudiantil sino también en mi crecimiento como persona, gracias padres por siempre estar conmigo les amo.

A mi hermana María José que siempre ha estado junto a mi brindándome su apoyo, y a mi sobrina Bianca que la amo y con un granito de arena han aportado para cumplir este objetivo.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme cumplir esta meta ya que sin la bendición de él no lo hubiese logrado y no solo en esta etapa de mi vida, sino en todo momento ofreciéndome su amor incondicional.

A mis padres Fanny y Heriberto por estar siempre conmigo apoyándome y guiándome para ser mejor persona; a mi hermana María José y mi sobrina Bianca por brindarme ese cariño incondicional, gracias familia.

Agradezco también a la Universidad Técnica de Ambato, a los Ingenieros que gracias a su gran labor y experiencia pude cumplir con esta meta; a mi Tutor de Tesis Ing. Mg. Diego Núñez por su ayuda en la elaboración del presente y al Ingeniero Mg. Segundo Espín por su colaboración brindada para llevar a cabo este proyecto.

Al Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero (CFPMC) por su colaboración con su impresora 3D la cual facilitó enormemente la elaboración de esta tesis.

ÍNDICE GENERAL

Certificación.....	2
Autoría.....	3
Derechos de Autor.....	4
Dedicatoria	5
Agradecimiento.....	6
Índice general	7
Índice de figuras.....	11
Índice de tablas.....	13
Resumen.....	14
Summary	15
CAPÍTULO I.....	16
1. El Problema.....	16
1.1 Tema.....	16
1.2 Justificación.....	16
1.3 Objetivos	17
1.3.1 General	17
1.3.2 Específicos	17
CAPITULO II	18
2.Fundamentación	18
2.1 Investigaciones Previas	18
2.2 Fundamentación teórica	18
2.2.1 Historia del riego.....	18
2.2.2 Riego presurizado.....	19
2.2.3 Micro riego.....	19
2.2.4. Sólidos Totales Disueltos (TDS).....	21

2.2.5. pH del Agua de Riego	21
2.2.6. Diseño Agronómico	22
2.2.7. Diseño Hidráulico	22
2.2.7.1. Principio de Bernoulli	23
2.2.7.2. Ecuación de Bernoulli	23
2.2.8. Dinámica de Fluidos Computacional	23
2.2.9. Metodología CFD	24
2.2.10. Método de Volúmenes Finitos (FVM).....	25
a) Modelo RANS.....	27
b) Modelo LES	27
c) Modelo DAM	27
2.2.12. Impresión 3D.....	27
2.2.12.1 Impresora 3D Stratasys Fortus 900mc	28
2.2.12.2 Material ASA	28
CAPÍTULO III.....	29
3. DISEÑO DEL PROYECTO	29
3.1. Recolección de Datos	29
3.1.1. Localización y caracterización de la zona de trabajo y el cultivo.....	29
3.1.2. Datos del Micro Aspersor	30
3.2. Selección de Alternativas	31
3.2.1. Tipos de Micro Aspersores	31
3.2.1.1. Micro Jet II.....	31
3.2.1.2. Spray Jets Dig	33
3.2.1.3. Mini Spray Jet	34
3.2.2. Fabricación.....	34
3.2.2.1. Impresión 3D.....	34

3.2.2.2. Inyección	35
3.2.2.3. Mecanizado	36
3.3. Estudios Necesarios	36
3.3.1. Ensayo Tipo de Suelo.....	36
3.3.1.1. Prueba de desmenuzamiento	36
3.3.1.2. Conclusión tipo de suelo	39
3.3.2. Ensayo TDS y pH del agua de riego	39
3.3.3. Ensayo de sólidos totales disueltos por centrífuga.....	41
3.3.4. Resultados de los ensayos	43
3.4. Cálculos.....	43
3.4.1. Diseño Agronómico	43
3.4.1.1. Cálculo de Evapotranspiración Potencial (ETo).....	43
3.4.1.2. Cálculo de la Evapotranspiración del Cultivo (ETc)	47
3.4.1.3. Cálculo de la Dosis de Riego (DR)	48
3.4.1.4. Cálculo del Intervalo de Tiempo de Riego (IR).....	50
3.4.2. Diseño Hidráulico	52
3.4.2.1. Cálculo de Presiones y Pérdidas de Energía	53
3.4.2.1.1. Pérdidas de Energía en Válvulas de Compuerta	58
3.4.2.1.2. Pérdidas de Energía en Codos de 90°	61
3.4.2.1.3. Pérdidas de Energía debido a la Fricción.....	61
3.4.2.1.4. Pérdidas por Energía debido a Contracción Súbita:.....	64
3.4.2.2. Comprobación de Resultados.....	65
3.5. Diseño de Micro Aspersores Mediante Software.....	68
3.6. Comportamiento de Micro Aspersores en Software	68
3.6.1. Parámetros de Software.....	68
3.6.2. Micro Aspersor Original:	69

3.6.3. Diseño 1	71
3.6.4. Diseño 2	72
3.6.5. Diseño 3	73
3.6.6. Diseño 4	74
3.6.7. Diseño 5	75
3.6.8. Diseño 6	76
3.6.9. Resultados del Comportamiento de los Micro Aspersores	77
3.7. Impresión de los Micro Aspersores.....	78
3.8. Pruebas de Evaluación	85
3.8.1. Pruebas Experimentales	85
3.9. Análisis de Resultados	88
3.9.1. Discusión de Resultados	93
3.9.2. Selección del micro aspersor.....	96
3.10. Presupuesto	97
3.11. Especificaciones Técnicas.....	97
3.12. Especificaciones de Riego.....	99
CAPÍTULO IV.....	100
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	100
4.1. Conclusiones	100
4.2. Recomendaciones.....	102
Bibliografía	104
Anexos	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2-1 Historia del Riego.....	19
Fig. 2-2 Esquema de Micro Aspersor (micro jet).	20
Fig. 2-3 Equipo para determinar TDS.....	21
Fig. 2-4 Equipo para determinar pH	22
Fig. 2-5 Intercambiador de Calor (CFD)	24
Fig. 2-6 Diseño de Velas (CFD)	25
Fig. 2-7 Volúmenes de Control en un Dominio.....	26
Fig. 2-8 Turbulencia Generada por un Auto	26
Fig. 2-9 Impresora 3D Stratasys Fortus 900mc	28
Fig. 3-1 Plano del Terreno	¡Error! Marcador no definido.
Fig. 3-2 Medidas Micro Jet II	30
Fig. 3-3 Tipos de Aspersión.....	31
Fig. 3-4 Instalación Micro Jet II.....	32
Fig. 3-5 Aspersión en Lazo (ambos lados).....	32
Fig. 3-6 Spray Jets DIG.....	33
Fig. 3-7 Mini Spray Jet	34
Fig. 3-8 Prueba de Desmenuzamiento 1	37
Fig. 3-9 Prueba de Desmenuzamiento 2	38
Fig. 3-10 Prueba de Desmenuzamiento 3	38
Fig. 3-11 Curva del Coeficiente del Cultivo	47
Fig. 3-12 Esquema del Terreno (Longitudes y Diámetros de Tubería)	53
Fig. 3-13 Determinación de Caudal (Método Experimental)	54
Fig. 3-14 Esquema Presión inicial y Presión 1(Tanque y Tubería 3pulg.)	¡Error! Marcador no definido.
Fig. 3-15 Coeficientes de Resistencia de Entradas	56
Fig. 3-16 Esquema Presiones en Línea de Aspersión	¡Error! Marcador no definido.
Fig. 3-17 Codos de Tubería.....	61
Fig. 3-18 Diagrama de Moody	63
Fig. 3-19 Red de Distribución de Agua (Software)	66
Fig. 3-20 Resultados Tubería de 3 pulg. (P1)	67
Fig. 3-21 Resultados Tubería 2pulg. (P3)	67

Fig. 3-22 Condiciones de Contorno y Mallado (Original).....	70
Fig. 3-23 Velocidad a la Salida del Micro Aspersor (Original).....	70
Fig. 3-24 Condiciones de contorno y Mallado (Diseño 1).....	71
Fig. 3-25 Velocidad a la Salida del Micro Aspersor (Diseño 1).....	71
Fig. 3-26 Condiciones de contorno y Mallado (Diseño 2).....	72
Fig. 3-27 Velocidad a la Salida del Micro Aspersor (Diseño 2).....	72
Fig. 3-28 Condiciones de contorno y Mallado (Diseño 3).....	73
Fig. 3-29 Velocidad a la Salida del Micro Aspersor (Diseño 3).....	73
Fig. 3-30 Condiciones de contorno y Mallado (Diseño 4).....	74
Fig. 3-31 Velocidad a la Salida del Micro Aspersor (Diseño 4).....	74
Fig. 3-32 Condiciones de contorno y Mallado (Diseño 5).....	75
Fig. 3-33 Velocidad a la Salida del Micro Aspersor (Diseño 5).....	75
Fig. 3-34 Condiciones de contorno y Mallado (Diseño 6).....	76
Fig. 3-35 Velocidad a la Salida del Micro Aspersor (Diseño 6).....	76
Fig. 3-36 Indicación de Velocidades altas, promedios y bajas.	77
Fig. 3-37 Longitud de Salida del Chorro	88
Fig. 3-38 Gráfica Velocidad Micro Aspersor Original	88
Fig. 3-39 Gráfica Velocidad Micro Aspersor Diseño 1	89
Fig. 3-40 Gráfica Velocidad Micro Aspersor Diseño 2	89
Fig. 3-41 Gráfica Velocidad Micro Aspersor Diseño 3	90
Fig. 3-42 Gráfica Velocidad Micro Aspersor Diseño 4	90
Fig. 3-43 Gráfica Velocidad Micro Aspersor Diseño 5	91
Fig. 3-44 Gráfica Velocidad Micro Aspersor Diseño 6	91
Fig. 3-45 Gráfica de Velocidad vs. Longitud Salida de Chorro. ¡Error! Marcador no definido.	
Fig. 3-46 Gráfica de Velocidad vs. Alcance de Chorro	¡Error! Marcador no definido.
Fig. 3-47 Área de Aspersión en el Cultivo de Pera.....	93
Fig. 3-48 Calidad de Nebulización	94
Fig. 3-49 Diseño 3 Micro Aspersor (seleccionado)	96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Presión de Trabajo vs. Caudal y Diámetro del Mico Jet.	21
Tabla 3-1 Tamaño de Partículas.....	43
Tabla 3-2 Radiación Extraterrestre Diaria (Ro) para diferentes latitudes para el día 15 del mes.	45
Tabla 3-3 Temperatura Promedio y Radiación Extraterrestre para una latitud sur de 1° para la Ciudad de Ambato.	46
Tabla 3-4 Valor de Evapotranspiración	46
Tabla 3-5 Factor de Abatimiento (agua disponible %)	49
Tabla 3-6 Humedad en el Suelo	49
Tabla 3-7 Horario de riego para micro aspersores	51
Tabla 3-8 Número máximo de micro aspersores	52
Tabla 3-9 Tiempo tomado para cálculo de caudal (Tubería 3 y 2 pulg.).....	53
Tabla 3-10 Tiempo tomado con cronómetro para calcular caudal (Tubería 16 mm)	54
Tabla 3-11 Coeficientes de Resistencia de Válvulas y Acoplamientos	59
Tabla 3-12 Factor de Fricción	59
Tabla 3-13 Rugosidad de los Materiales	62
Tabla 3-14 Coeficiente de resistencia-contracción súbita.....	64
Tabla 3-15 Parámetros de Software	69
Tabla 3-16 Cuadro Comparativo de Velocidades de los Micro Aspersores	78
Tabla 3-17 Cuadro Comparativo del Tipo de Aspersión	86
Tabla 3-18 Cuadro Comparativo Ángulos y Alcance de Aspersión	87
Tabla 3-19 Cuadro Comparativo de Velocidades y Alcance de Aspersión	87
Tabla 3-20 Comparación de Resultados	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 3-21 Presupuesto	97
Tabla 3-22 Diseño 3 – Micro Aspersor.....	98
Tabla 3-23 Especificaciones Hídricas Cultivo de Pera	99

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

**DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN MICRO ASPERSOR CON UNA
PRESIÓN DE TRABAJO ENTRE 10 A 30 PSI PARA UN SISTEMA DE
RIEGO EN CULTIVOS DE PERA DE LA PARROQUIA HUACHI GRANDE.**

Autor: Eric Poveda

Tutor: Ing. MSc. Diego Núñez Nuñez

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo diseñar y fabricar un micro aspersor para cultivos de pera que sea capaz de abastecer con las necesidades hídricas del cultivo y al mismo tiempo evitar taponamientos en la boquilla.

Para el desarrollo del proyecto se realizó un análisis del estado actual de la geometría de un micro aspersor existente en el mercado para tener en cuenta los parámetros de los cuales se va a partir; seguido de esto se identifica la localización del terreno, las características de cultivo y se realizan pruebas para saber con qué tipo de tierra se trabaja. Además se hacen pruebas TDS y pH del agua de riego para determinar tamaños de partículas que puedan taponar la boquilla del micro aspersor. A continuación se realiza cálculos agronómicos e hidráulicos los cuales servirán para diseñar modelos diferentes con variaciones en sus geometrías específicamente el diámetro del orificio y ángulo de superficie de choque de chorro; se usa una impresora 3D para la obtención de los micro aspersores y mediante software CFD se analizó comportamientos de velocidad los cuales fueron comprobados en un banco de pruebas y permitieron determinar el alcance del chorro y área de cobertura de la aspersión y calidad de la misma.

TECHNICAL UNIVERSITY OF AMBATO
FACULTY OF CIVIL AND MECHANICAL ENGINEERING
MECHANICAL ENGINEERING CAREER

**DESIGN AND MANUFACTURING OF A MICRO- SPRINKLER WITH A
NOMINAL PRESSURE BETWEEN 10 TO 30 PSI FOR AN IRRIGATION
SYSTEM OF CROP'S PEAR IN THE HUACHI GRANDE COMMUNITY**

Author: Eric Poveda

Advisor: Ing. MSc. Diego Núñez Nuñez

SUMMARY

The aim of this project is to design and manufacture a micro sprinkler for crop's pear that is capable of supplying with the water needs of the crop and at the same time avoid clogging in the nozzle.

For the development of the project was carried out an analysis of the current state of the geometry of a micro sprinkler in the market to take into account the parameters from which the study. Followed by this identifies the location of the land, the crop's characteristics and tests are performed to know what type of land is worked. Afterwards, TDS and pH tests are performed on the irrigation water to determine particle sizes that can clog the nozzle of the micro sprinkler. Next, we performed agronomic and hydraulic calculations that served to design different models with variations in their geometries specifically the orifice diameter and the surface angle of the impact of the jet; A 3D printer was used to obtain the micro sprinklers and CFD software analyzed velocity behaviors which were checked in a test bench and allowed to determine the spray range and area of coverage of the spray and quality of the same.

CAPÍTULO I

1. EL PROBLEMA

1.1 TEMA

“DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN MICRO ASPERSOR CON UNA PRESIÓN DE TRABAJO ENTRE 10 A 30 PSI PARA UN SISTEMA DE RIEGO EN CULTIVOS DE PERA EN LA PARROQUIA HUACHI GRANDE.”

1.2 JUSTIFICACIÓN

Debido a que Ecuador es un país con amplias variaciones climáticas para sembrar las mejores frutas y comercializarlas al mundo, ocupa el puesto número 12 de proveedor mundial de frutas y el segundo en Sudamérica [1]; por ello es indispensable mantener un sistema de riego por micro aspersion óptimo y exclusivo para cultivos frutales.

Por la cantidad de impurezas contenidas en el agua, los filtros usados en los sistemas de riego no cumplen con su objetivo lo que ocasiona el taponamiento de los micro aspersores; y realizar un tratamiento de agua para cada agricultor en un sector específico sería muy costoso.

Por lo tanto este proyecto se ve enfocado a diseñar un micro aspersor el cual sea apto para usarlo en varios tipos de cultivos frutales sin ocasionar taponamientos y optimizando el consumo de agua usando software CFD (Dinámica de Fluidos Computacional), siendo los principales beneficiarios agricultores de la Parroquia Huachi Grande.

Para la elaboración de este proyecto se tiene disponible como punto de partida el micro aspersor que ocasiona fallas el cual mediante software CFD será modificado y diseñado de mejor manera lo cual hace que este trabajo sea factible.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 GENERAL

- Diseñar y fabricar un micro aspersor con una presión de trabajo entre 10 a 30 Psi para un sistema de riego en cultivos de pera de la parroquia Huachi Grande.

1.3.2 ESPECÍFICOS

- Realizar una prueba TDS (Sólidos Disueltos Totales) y sólidos suspendidos del agua y determinar el tamaño de la partícula para realizar el diseño del micro aspersor.
- Obtener la geometría del micro aspersor mediante Software CAD para identificar el estado actual del mismo.
- Determinar parámetros de diseño de micro aspersores con el fin de optimizar su funcionamiento.
- Modelar el micro aspersor mediante Software CFD para evaluar su comportamiento.
- Realizar pruebas de evaluación del micro aspersor para determinar su rendimiento.

CAPITULO II

2. FUNDAMENTACIÓN

2.1 INVESTIGACIONES PREVIAS

- En la revista científica “Irrigation Science” cuyo principal objetivo es ayudar al agricultor a tener un mejor cuidado de las plantas, suelo y en especial tener un mejor aprovechamiento del agua de riego, se han realizado algunos estudios sobre modificaciones hechas a aspersores de agua para determinar su eficiencia. En 1997, J. Li y H. Kawano [2], determinaron que la relación que existe entre la presión y la descarga de un micro aspersor es fundamental para el desarrollo de nuevos prototipos, para ello variaron el ángulo interno de un micro aspersor entre 20° y 90° para establecer la relación entre caudal y presión.
- Años más tarde en el 2001, Montero et al. [3], lograron simular un micro aspersor determinando el comportamiento que tiene la aspersión con respecto al viento y mejorarla.
- En el 2010, R. Armindo, et al. [4], determinaron el uso óptimo de un aspersor y alcanzaron un mejor aprovechamiento del agua de riego basándose en la modificación de la boquilla permitiendo emitir un caudal de acuerdo a las necesidades de los cultivos.

2.2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.2.1 HISTORIA DEL RIEGO

Los sistemas de riego surgen alrededor de los años 6000 a.C. en Egipto y Mesopotamia lo que hoy en día es Irak e Irán debido a la falta de agua surge la necesidad de aprovechar cada gota lo que llevó a los agricultores a desarrollar varias técnicas entre ellas el riego por goteo que consistía en colocar agua en vasijas de arcilla con agua bajo la tierra con el fin de que ésta se infiltrara y se drenara de forma

localizada en el cultivo; de a poco surgieron varias técnicas que hoy en día se reflejan en sistemas automatizados y que trabajan con altas presiones.

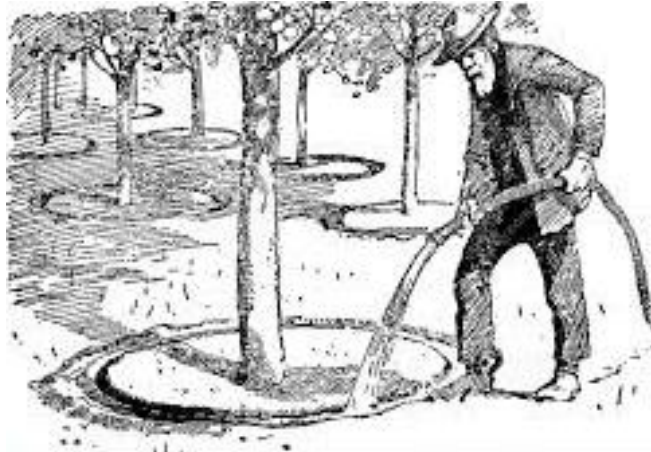


Fig. 2-1 Historia del Riego

Fuente: L. Vallon. “*Árboles de Riego en Huerta*”. Internet: <https://es.dreamstime.com/stock-de-ilustracin-grabado-de-agriculture-rboles-de-riego-en-huerta-image57565311>. [Dic. 18, 2016]

2.2.2 RIEGO PRESURIZADO

El riego presurizado es una tecnología prácticamente nueva que se ha venido desarrollando a partir del siglo XX y es un método mucho más eficaz para ahorrar agua distribuirla de mejor manera en cultivos frutales que requieren riego localizado. Hay muchas variaciones de sistemas de riego presurizado pero los más destacados son los sistemas de riego por goteo y sistemas de aspersores, entre ellos se derivan varios modelos dependiendo el tipo de campo, cultivo, clima, y otros; pero los componentes del sistema básico siguen siendo los mismos; por otro lado el bajo costo de instalación y la baja presión necesaria son factores importantes al momento de decidir por estos sistemas de riego. La calidad del agua juega un factor importante para la sostenibilidad de los sistemas de riego presurizado, debido a sus minerales que se encuentran disueltos conduce al bloqueo frecuente de aspersores lo que requiere mantenimiento de rutina. [5]

2.2.3 MICRO RIEGO

El término micro riego describe una familia de sistemas de riego en el cual se aplica agua a través de pequeños dispositivos; estos dispositivos suministran agua sobre la superficie del suelo muy cerca de la planta directamente en la zona de sus raíces.

Las ventajas de este sistema de riego son el bajo consumo de agua debido a sus bajos caudales, bajos daños en las raíces de las plantas debido al fácil control de cantidad de agua lo que no ocurre mediante el riego por surcos, económicos y de fácil instalación. [6]

2.2.3.1. Micro Aspersor

Los micro aspersores, comunmente conocidos como rociadores o boquillas rociadoras; son dispositivos de dosificación hechos de plástico que ofrecen una descarga de agua paqueña pero precisa; dicha cantidad de agua se expresa en litros por hora y esta puede llegar hasta 20 l/h. y su presión hasta 30 Psi.

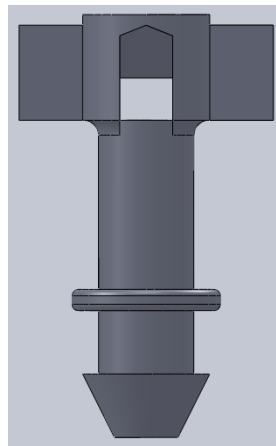


Fig. 2-2 Esquema de Micro Aspersor (micro jet).

Fuente: Autor

2.2.3.2. Micro Jet

Con el objetivo de economizar el riego localizado se ha creado el “Micro Jet”, el cual es una opción favorable para agricultores propietarios de cultivos frutales; las ventajas que ofrece este micro aspersor son significativas como su bajo costo, el menor requerimiento de filtrado que en un sistema de goteo tradicional y de igual manera su bajo caudal que permite reducir el costo de materiales y en la instalación del sistema. [7].

Tabla 2-1 Presión de Trabajo vs. Caudal y Diámetro del Mico Jet.

MICRO JET	PRESIÓN DE TRABAJO (PSI)							
	3,5	7	10	15	18	20	25	30
Caudal (LPH)	6,44	8,69	11,05	12,44	14,21	16,07	17,43	18,73
Diámetro	2,65	2,71	3	2,95	2,62	1,48	1,5	1,67

Fuente: Catálogo Agrícola, Soluciones para Riego, PLASTIGAMA Mexichen Ecuador S.A., Pág. 8

2.2.4. SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS (TDS)

Los sólidos totales disueltos son los que tienen afinidad con el agua para combinarse, y pueden afectar significativamente la calidad de un cuerpo de agua el cual va a ser usado ya sea para el consumo humano como para agua de riego [8]; este ensayo se enfoca en determinar las partes por millón de solidos que se encuentran disueltos en el agua a una determinada temperatura y para ello se usa el siguiente equipo.



Fig. 2-3 Equipo para determinar TDS

Fuente: Autor

2.2.5. PH DEL AGUA DE RIEGO

El análisis de pH del agua sirve para determinar la acidez o alcalinidad del agua y de esta manera saber la calidad de la misma. Las mediciones de pH operan en un rango

de 0 – 14 siendo 7 neutro; inferiores a esos valores se consideraran ácidos y las superiores bases o alcalinos [9]. El equipo para determinar el pH es el que se muestra en la siguiente figura.



Fig. 2-4 Equipo para determinar pH

Fuente: Autor

2.2.6. DISEÑO AGRONÓMICO

El diseño agronómico es el primero paso a seguir para la determinación de cualquier tipo de riego ya sea este por goteo o aspersión, y es aquí donde se determinará la cantidad de agua que necesita la planta en función del tipo de suelo que se tenga, las precipitaciones de la zona entre otros factores.

Estos cálculos son primordiales ya que son la base para saber qué cantidad de agua tiene que transmitir el sistema y en el caso de diseñar goteros o micro aspersores saber que caudal deben arrojar cada uno dependiendo de las necesidades específicas de los cultivos.

2.2.7. DISEÑO HIDRÁULICO

Dentro del diseño hidráulico en sistemas de riego se analiza el comportamiento del fluido dentro de tuberías y ramificaciones analizando pérdidas debido a varios factores como son accesorios, filtros, acoplamientos, longitudes de tuberías, etc.

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.

2.2.7.1. Principio de Bernoulli

Daniel Bernoulli fundador de este teorema, fue un físico matemático que hizo importantes descubrimientos en hidrodinámica, en 1738 publicó un estudio teórico y práctico de equilibrio, presión y velocidad de los fluidos; mostró que a medida que aumenta la velocidad de flujo de un fluido su presión disminuye conocido hoy como Teorema de Bernoulli. [10]

2.2.7.2. Ecuación de Bernoulli

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (\text{Ec. 2.1})$$

Dónde:

$\frac{P}{\gamma}$: Es la carga de presión

Z: Es la carga de elevación

$\frac{v^2}{2g}$: Es la carga de velocidad

Cada término de la ecuación de Bernoulli es una forma de la energía que posee el fluido por unidad de peso del fluido que se mueve en el sistema. [11]

“La ecuación de Bernoulli es una relación aproximada entre la presión, la velocidad y la elevación, y es válida en regiones de flujo estacionario e incompresible en donde las fuerzas netas de fricción son despreciables” [12].

2.2.8. DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL

La Dinámica de Fluidos Computacional (CFD), ha sido una gran vía de acceso para el desarrollo de nuevos diseños y prototipos principalmente en el ámbito hidráulico, aerodinámico, irrigación y también en el tema de energía; se define como el conjunto de metodologías que permiten que el ordenador nos proporcione una simulación

numérica de flujo de fluidos; la palabra “simulación” nos da a entender que se usa la computadora para resolver numéricamente las leyes que rigen el movimiento de los fluidos dentro o alrededor de un sistema. [13].

Hoy en día este método se ha vuelto una técnica viable para el desarrollo de productos, por otro lado la diversidad de software basados en esta tecnología han crecido y cada vez son más prácticos y con grandes ventajas.

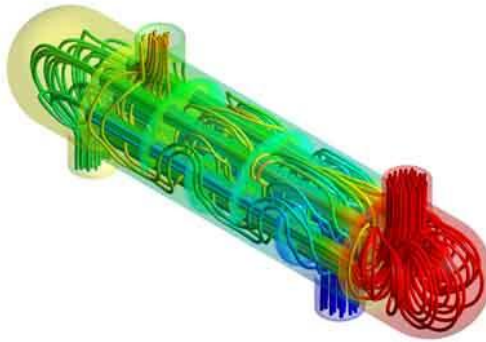


Fig. 2-5 Intercambiador de Calor (CFD)

Fuente: FlowXplore. “Heat Exchanger”. Internet: <http://www.flowxplore.com/heat.php>. [Dic. 18, 2016]

2.2.9. METODOLOGÍA CFD

El método CFD permite eliminar la complejidad al momento de analizar el comportamiento de un fluido el cual se traslada a través de una geometría predeterminada, tomando en cuenta varios parámetros del fluido como su temperatura, velocidad, presión, turbulencia, tipo de fluido, viscosidad, etc. CFD es capaz de resolver y mostrar los resultados mediante graficas o tablas lo cual permite al diseñador tomar decisiones de selección entre varios modelos permitiendo así ahorrar tiempo y costo en la construcción física de algún prototipo.

La metodología que se ocupa para resolver casos con tecnología CFD viene dado por el diseño principal del sistema, espacio u objeto, luego teniendo conocimiento de sus condiciones de borde o frontera se pone limitantes para que el programa pueda resolverlo, para luego realizar un mallado apropiado el cual permitirá dependiendo de la finura de este, obtener resultados más precisos; por último el software calcula y

muestra gráficamente el comportamiento del sistema con el objetivo que el diseñador pueda evaluarlo y calificarlo acorde a sus necesidades.

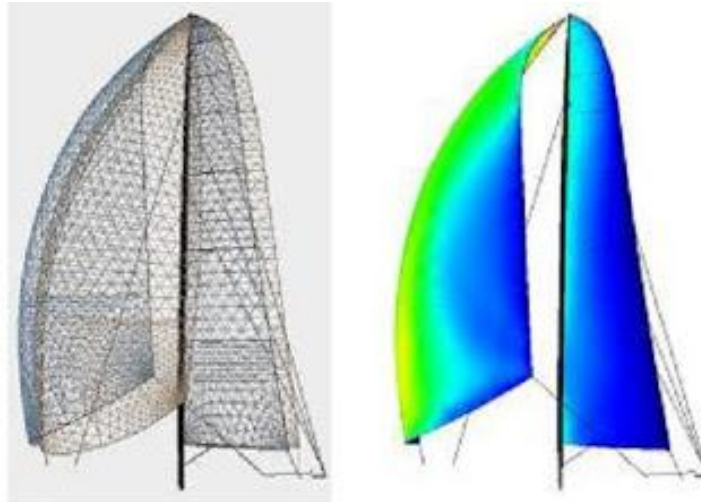


Fig. 2-6 Diseño de Velas (CFD)

Fuente: Technical Courses. “Diseño de Veñas”. Internet:

http://www.technicalcourses.net/portal/es/blog/blog_entrada.php?entrada_id=50. [Dic. 18, 2016]

2.2.10. MÉTODO DE VOLÚMENES FINITOS (FVM)

El método de volúmenes finitos es ampliamente utilizado en mecánica de fluidos, meteorología, electromagnetismo, simulación de dispositivos semiconductores y en muchas otras áreas de ingeniería los cuales requieren un amplio análisis numérico que sería muy complicado resolverlo debido a su magnitud. Es allí donde este método toma gran auge a nivel de ingeniería ya que facilita enormemente el rediseño de cualquier prototipo y de igual manera ayuda a diseñar de manera eficiente ahorrando tiempo y dinero.

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.

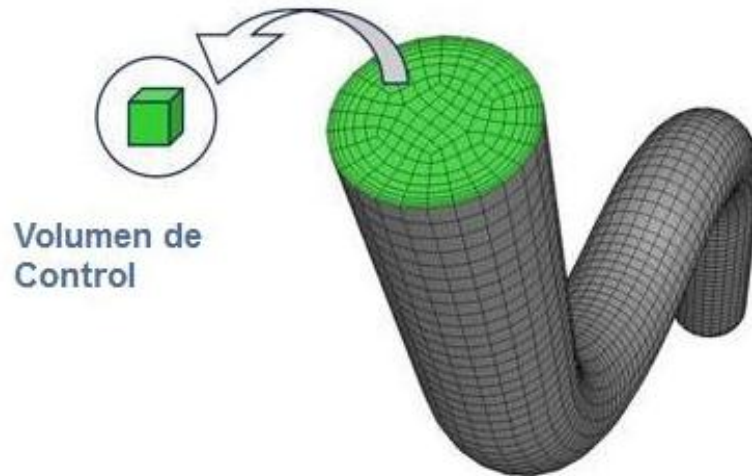


Fig. 2-7 Volúmenes de Control en un Dominio

Fuente: ESSS. “Dinámica de Fluidos Computacional”. Internet:

<http://www.esss.com.br/blog/es/2016/06/dinamica-de-fluidos-computacional-que-es/>. [Dic. 18, 2016]

2.2.11. 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.

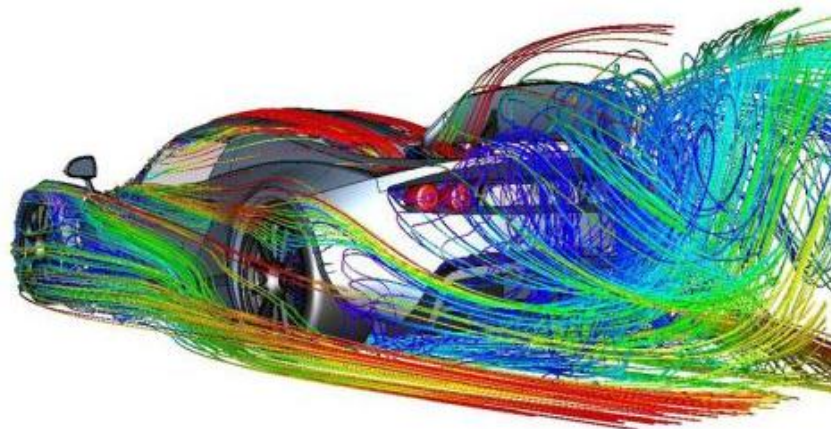


Fig. 2-8 Turbulencia Generada por un Auto

Fuente: AlbrodpulF1. “Análisis Técnico – Dinámica de Fluidos Computacional”. Internet:

<https://albrodpulF1.wordpress.com/2014/03/08/analisis-dinamica-computacional-de-fluidos-cfd/>. [Dic. 18, 2016]

a) Modelo RANS

El modelo RANS (Ecuaciones Promediadas de Reynolds Navier-Stokes) se basa en la promediación de las ecuaciones del fluido, para la cual todas las magnitudes se sustituyen por la suma de su valor medio y una componente fluctuacional. Después de promediarlas se obtienen términos adicionales que requieren la adición de otras ecuaciones para cerrar el sistema. Se presentan dos variantes principales de promediación: la de Reynolds y la de Favre. Esta última emplea magnitudes promediadas por unidad de masa. [14]

b) Modelo LES

El modelo LES (Large Eddy Simulations) o movimiento turbulento de grandes remolinos se basa en un filtrado espacial de las ecuaciones de gobierno del fluido de tal manera que se resuelven computándose a grandes escalas, mientras que para escalas más pequeñas se asume un modelo que permite considerar de forma aproximada su influencia en la variación general de los parámetros del flujo. [15]

c) Modelo DAM

El modelo DAM (Double-Averaging Methodology) también conocido como modelo DANS ((Double Averaging Navier Stokes) debido a que es una modificación o adecuación del modelo RANS; tiene como objetivo evaluar y promediar dos veces el comportamiento de un fluido en un sistema con el fin de mejorar el diseño de experimentos.

Para Ruiz [16], la doble evaluación mejora significativamente la escala entre los parámetros de flujo y rugosidad también las fuerzas de arrastre son más fáciles de evaluar y las variables se pueden escalar de forma más sencilla y mejores definiciones de los parámetros hidráulicos.

2.2.12. IMPRESIÓN 3D

La impresión 3D comienza en el año 1989 gracias a la empresa Stratasys con su fundador Scott Crump el cual desarrollo la técnica de Fused Deposition Modeling (FDM) que consiste en la superposición de material fundido que posteriormente se solidifica para tomar la forma deseada obteniendo así un material tridimensional. Con el tiempo la impresión 3D tomo un gran auge abaratando costos y permitiendo a

pequeños usuarios, universidades, talleres no industriales tener acceso a esta tecnología para fines propios. [17].

2.2.12.1 Impresora 3D Stratasys Fortus 900mc

La Stratasys Fortus 900mc usa tecnología FDM la que le hace la más potente en la actualidad, más precisa, fina precisión y notable agilidad; por otro lado cuenta con 12 opciones de termoplásticos y un tamaño de bandeja muy espaciosa. [18]



Fig. 2-9 Impresora 3D Stratasys Fortus 900mc

Fuente: Stratasys, *Fortus 900mc* [online]. Edina, Minnesota, Estados Unidos, 1988 Disponible en: <http://www.stratasys.com/es/impresoras-3d/production-series/fortus-900mc>.

2.2.12.2 Material ASA

Elaborado con acrilonitrilo, estireno y acrilato ASA es un termoplástico muy parecido al ABS (acrilonitrilo – butadieno – estireno) pero con una mejor resistencia a la intemperie y a los rayos UV [19], de igual manera la perfección con la que funciona con la tecnología FDM (Fused Deposition Modeling) la hace uno de los mejores materiales para impresión en 3D y mucho mejor en la impresora Stratasys Fortus 900mc la cual se usó para la elaboración de este proyecto.

CAPÍTULO III

3. DISEÑO DEL PROYECTO

3.1. RECOLECCIÓN DE DATOS

3.1.1. LOCALIZACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE TRABAJO Y EL CULTIVO

Este proyecto se realizó en la Parroquia Huachi Grande Barrio “La Palestina”, en un lote con las siguientes especificaciones:

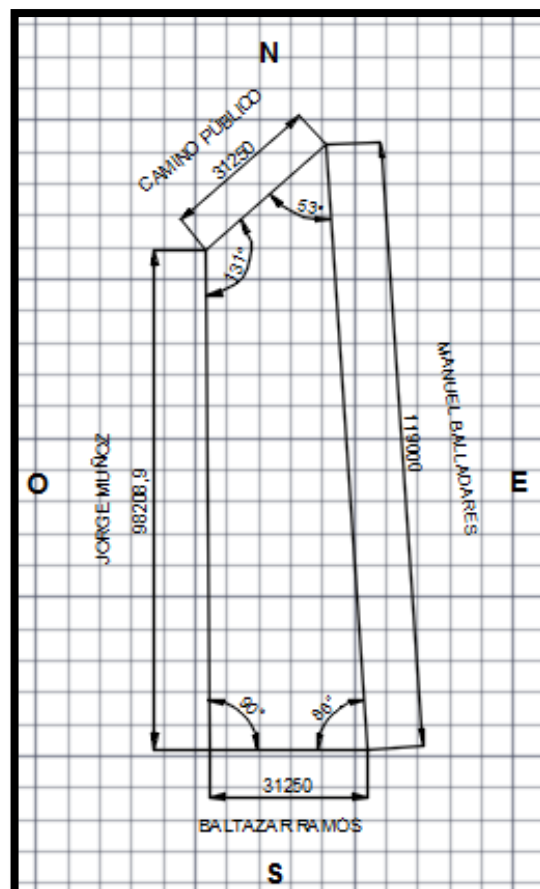


Fig. 3-1 Plano del Terreno

Fuente: Autor

Con árboles de peral de 2 años de injerto en 3 hileras de 7 árboles cada una, ubicado en las coordenadas geográficas 1° 19' 18" S y 78° 38' 37" W, con una altitud de 2.958 msnm. El suelo predominante es franco arenoso (tierra amarilla) y relieve montañoso. Según la clasificación climática de Köppen [20], la región se encuentra en el tipo Aw, clima tropical con precipitaciones constantes; temperatura media de 15 °C y precipitaciones entre 975,9 y 1126,3 mm/año. [21].

3.1.2. DATOS DEL MICRO ASPERSOR

- **Nombre Comercial:** Micro Jet II
- **Dimensiones:**

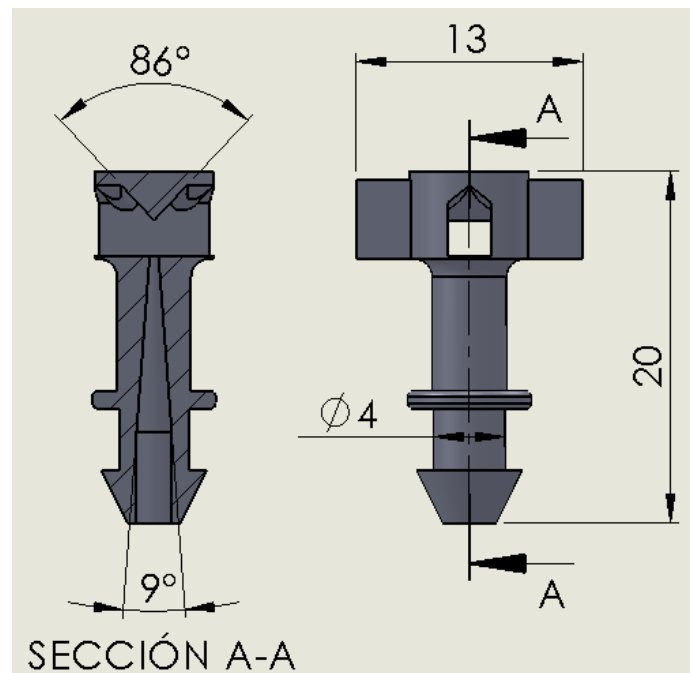


Fig. 3-1 Medidas Micro Jet II

Fuente: Autor

- **Material:** Polietileno de Alta Densidad HDPE
- **Tipo de Aspersión:** El tipo de aspersión dependerá del cultivo ya que en base a ello se define la cantidad de agua que necesita el cultivo, cantidad de micro aspersores (pueden ser 2 o más), caudal necesario (LPH).

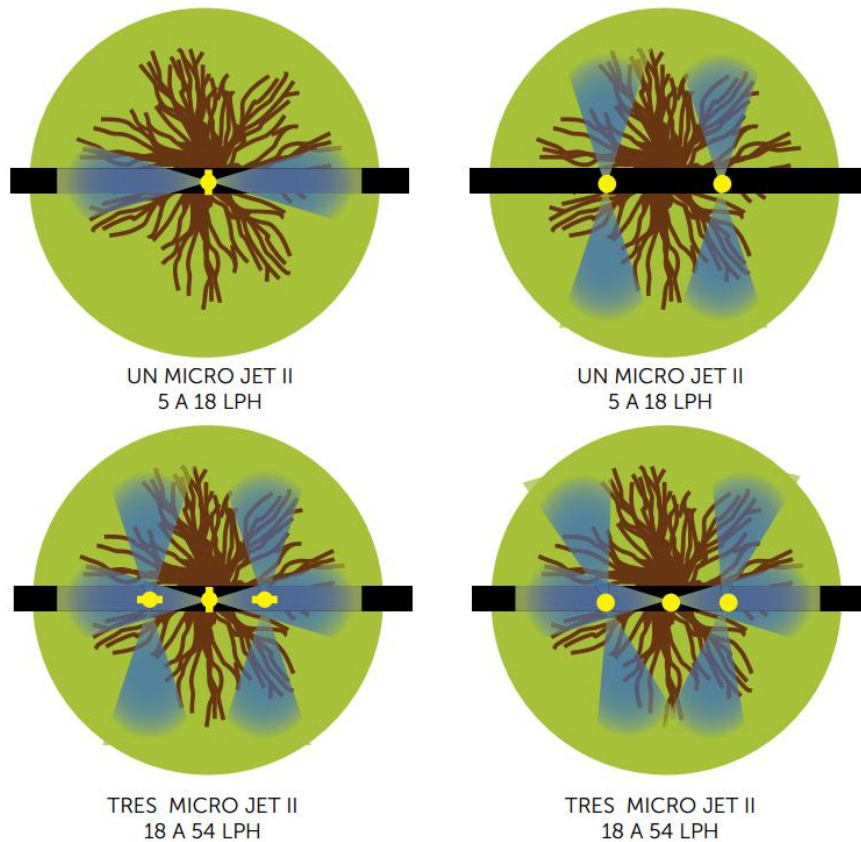


Fig. 3-2 Tipos de Aspersión

Fuente: Catálogo Agrícola, Soluciones para Riego, PLASTIGAMA Mexichen Ecuador S.A., Pág. 8.

3.2. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

3.2.1. TIPOS DE MICRO ASPERSORES

3.2.1.1. Micro Jet II

Las ventajas que se destacan en este tipo de micro aspersores son las siguientes:

- Bajo costo.
- Menor requerimiento de filtrado que en un sistema de goteo tradicional.
- Fácil instalación
- No requieren de otro sistema de instalación como soporte o carcasa, para su funcionamiento.
- Puede distribuir casi 19 litros por hora con 30 Psi.
- Debido a su bajo caudal permite reducir el costo de materiales en la instalación ya que se lo incrusta directamente en la manguera así:



Fig. 3-3 Instalación Micro Jet II

Fuente: Catálogo Agrícola, Soluciones para Riego, PLASTIGAMA Mexichen Ecuador S.A., Pág. 8.

Su aspersión apunta en forma de lazo hacia la izquierda y la derecha lo que permite un mejor alcance y distribución del agua sobre el cultivo; esto a la larga lleva a obtener menos escorrentía.

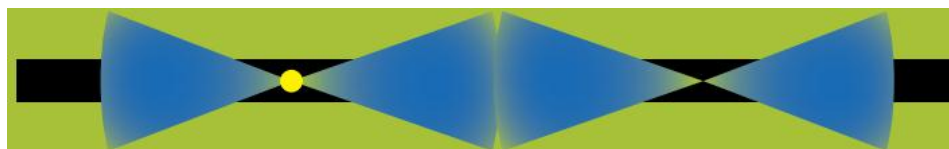


Fig. 3-4 Aspersión en Lazo (ambos lados)

Fuente: Catálogo Agrícola, Soluciones para Riego, PLASTIGAMA Mexichen Ecuador S.A., Pág. 8.

Dentro de sus desventajas tenemos que:

- Debido a las partículas existentes en el agua se producen taponamientos en la boquilla.
- Si la manguera principal de distribución de agua se mueve o se gira los micro jets tienden a cambiar su orientación de riego afectando la aspersión.

El alcance de aspersión solo llega hasta los 3 metros cuadrados lo que hace que sean utilizados simplemente para cultivos frutales pequeños.

3.2.1.2. Spray Jets Dig



Fig. 3-5 Spray Jets DIG

Fuente: Catálogo, GREENHOUSE & NURSERY CATALOG, DIG California Estados Unidos., pp. 6 y 7.

Sus Ventajas son:

- Puede distribuir casi 13,4 litros por hora con 25 Psi.
- Debido a que se usa un pedestal para su instalación disminuye el peligro a que se viren los micro aspersores.
- Se los puede usar para cultivos un poco más grandes como arboles de manzana, aguacate, etc.

Sus desventajas son:

- Mayor costo que los Micro Jet II debido a que requiere de otro sistema para su instalación y funcionamiento.
- Se requiere de un tubo aparte de la línea principal para poder adaptar el micro aspersor.
- Complicada instalación no lo puede hacer cualquier persona.
- Obligatoriamente requiere de un filtro lo que eleva su costo.

3.2.1.3. Mini Spray Jet



Fig. 3-6 Mini Spray Jet

Fuente: Catálogo, JAIN IRRIGATION SYSTEMS CATALOG, JAIN Jalgaon, India., pp. 20-21.

Sus ventajas son:

- Vienen identificados por colores para identificar el tamaño de la boquilla.
- Consta de 5 patrones de rociado para diferentes cultivos.
- Tiene varias opciones de montaje.

Sus desventajas son:

- Difíciles de instalar debido a que requiere de una estaca, un tubo de extensión en el cual va instalado el micro aspersor.
- Trabaja con una presión máxima de 15 Psi.
- Suelo tiene que ser firme para que no ocurra inconvenientes.

Difíciles de adquirir en el mercado ecuatoriano, y en caso de requerir repuestos no se encuentran disponibles.

3.2.2. FABRICACIÓN

3.2.2.1. Impresión 3D

Para el desarrollo del siguiente proyecto se usará tecnología 3D debido a su bajo costo de fabricación y también a la disponibilidad que nos brinda el “Centro Carrocero Metalmecánico del Consejo Provincial de la Ciudad de Ambato” con su impresora Stratasys Fortus 900mc.

A continuación se nombran sus ventajas y desventajas sobre este método de fabricación:

Ventajas

- Con la adquisición de una sola máquina se pueden obtener una infinidad de piezas y modelos; ya que por otros métodos se requiere una máquina específica para la elaboración de cada producto.
- Facilidad de rediseñar, mejorar, añadir y personalizar los productos de la manera más conveniente.
- Su producto final puede ser usado de igual manera que el original.
- Los materiales para la elaboración de partes o piezas cada día mejoran, como la resistencia mecánica, protección a los rayos UV entre otros.
- Costo de producción mucho más económico.

Desventajas

- La disminución de puestos de trabajo es una de las principales desventajas de este nuevo método de fabricación.
- En piezas que contienen orificios es más difícil remover el material que se encuentra en su interior.
- Para la fabricación de piezas o partes muy pequeñas se requiere de impresoras 3D mucho más precisas y por ende el costo de elaboración aumentará.
- El tiempo de fabricación es más extenso, alrededor de 45 minutos por micro aspersor.

3.2.2.2. Inyección

La primera patente registrada de una máquina de inyección fue en 1872 por John Hyatt; 50 años más tarde una compañía alemana llamada Cellon-Werkw patenta una máquina de inyección de plástico mucho más moderna. Sin embargo en 1930 finalmente se produjo de forma masiva la pluma fuente a cargo de otra compañía alemana llamada Mentmore Manufacturing, para ese entonces las máquinas funcionaban con aire comprimido, la apertura del molde y su extracción se realizaba de forma manual lo que ponía en riesgo a los operadores.

En los años ochenta las mejores para estas máquinas son significativas adaptando un sistema software CAD para el diseño de los moldes, la inyección ya sería asistida por computadora, y obviamente se mejoró la calidad del producto. [22]

Ventajas:

- Mejor acabado
- Proceso más rápido; 5min por disparo y se obtiene 10 piezas.

Desventajas:

- Alto costo del molde; alrededor de \$2500 de la matriz en acero templado.
- Costo del alquiler de la inyectora \$25/hora.

3.2.2.3. Mecanizado

El mecanizado es una técnica en la cual se obtiene piezas a partir de la eliminación del material y tuvo sus inicios en los siglos dieciocho y diecinueve conjuntamente con la revolución industrial.

Sus Ventajas son:

- Proceso más rápido; 5 minutos en la fresadora y 15 minutos en el torno.
- Mejor acabado superficial.

Sus Desventajas son:

- Se requiere disponer de un Torno y una Fresadora.
- El alquiler cuesta alrededor de \$15/hora
- Costo total \$500

3.3. ESTUDIOS NECESARIOS

3.3.1. ENSAYO TIPO DE SUELO

3.3.1.1. Prueba de desmenuzamiento

Para determinar el tipo de suelo en el que se va a trabajar se realizó la prueba de desmenuzamiento la cual consiste en escoger una muestra de suelo y remojarla con la

mano, de esta manera se realizando un tipo de masa se evaluará los resultados, siendo estos:

- Si la muestra se pulveriza y ofrece poca resistencia el suelo será franco arenoso es decir contiene alrededor de un 80% de arena y muy poca arcilla.
- Si la muestra tiene una resistencia media será arcilloso arenoso, es decir tendrá la mitad de arena y la otra mitad de arcilla.
- Si la muestra ofrece una gran resistencia entonces será un suelo arcilloso.

De esta manera para determinar el tipo de suelo del terreno de $3017,76m^2$ se realizaron 3 pruebas de desmenuzamiento en 3 diferentes sectores, en especial en el sector donde se encuentran los cultivos de pera, obteniendo los siguientes resultados:

a) Primer Ensayo:



Fig. 3-7 Prueba de Desmenuzamiento 1

Fuente: Autor

Resultado primer ensayo:

La primera muestra se pulverizo casi por completo en la mano y ofreció muy poca resistencia por lo tanto será suelo Franco Arenoso.

b) Segundo Ensayo:



Fig. 3-8 Prueba de Desmenuzamiento 2

Fuente: Autor

Resultado segundo ensayo:

En el segundo ensayo realizado en la parte alta del terreno (un poco lejano a los cultivos de pera) se puede observar que la mitad de desmenuzo mientras que la otra mitad mostro una resistencia media, por lo cual podemos concluir que el suelo es arenoso arcilloso en este sector.

c) Tercer Ensayo:



Fig. 3-9 Prueba de Desmenuzamiento 3

Fuente: Autor

Resultado tercer ensayo:

En el tercer ensayo realizado junto a los cultivos de pera se puede observar que es muy similar al primer caso, es decir la muestra ofreció muy poca resistencia y se desmenuzo casi por completo, siendo así un suelo franco arenoso.

3.3.1.2. Conclusión tipo de suelo

En los tres ensayos realizados se puede destacar un alto contenido de arena y en dos de ellos las muestras mostraron baja resistencia y se desmenuzaron, a más de esto las muestras en las que se determinó como suelo franco arenoso fueron tomadas junto a los cultivos de pera, por ello se definirá que el suelo a trabajar para realizar cálculos agronómicos será FRANCO ARENOSO.

3.3.2. ENSAYO TDS Y PH DEL AGUA DE RIEGO

Como se dijo anteriormente los ensayos TDS y pH del agua sirven para evaluar la calidad de agua que se tiene y de esta manera poder darle un uso apropiado.

Para el siguiente proyecto el objetivo de evaluar los Sólido Totales Disueltos y el pH del agua de riego del sector” La Palestina” en Huachi Grande – Ambato, ayudará significativamente en el rediseño del micro aspersor ya que con estos datos se podrá determinar la cantidad de impurezas y partículas que se hallan en el agua y así optimizar la boquilla del micro aspersor evitando taponamientos y obteniendo mejores resultados para ser usados en los cultivos de pera.

Se realizaron dos análisis de Sólidos Totales Disueltos y pH obteniendo los siguientes resultados:



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



ENSAYO DE SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS Y pH DEL AGUA DE RIEGO

Tipo de Estudio:	De laboratorio	Ensayo No. 1	
Identificación del componente de análisis:	Muestra No. 1		
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	
Centro de Estudios y Análisis:	Laboratorio de Química FICM		
Realizado por:	Eric Poveda	Supervisado por:	Ing. Henry Salinas

PARÁMETROS DE LA MUESTRA

Tipo:	Agua de riego		
Tomada de:	Tubería de Aspersión	Diámetro:	16mm
Cantidad:	3 Litros		

PARÁMETROS DEL ENSAYO

Materiales:	Vaso de Precipitación	Capacidad:	250 mL
		Cantidad de muestra:	200 mL
Equipos:	Medidor TDS		
	Medidor pH		
Tiempo que toma el Ensayo:	5 min		

RESULTADOS



47 Partes por Millón @ 17,7°C





pH = 7,7

Elaborado por: (Nombre/Firma)	Eric Poveda	Fecha:	07/03/2016
Revisado por: (Nombre/Firma)	Ing. MSc. Diego Núñez Nuñez	Fecha:	09/03/2016

3.3.3. ENSAYO DE SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS POR CENTRÍFUGA

Se realiza dos pruebas de sólidos torales disueltos del agua de riego del sector para determinar impurezas existentes las cuales pueden ser las causantes del taponamiento de los micro aspersores.

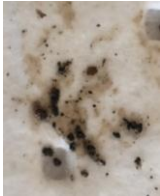

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA	
		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
			
ENSAYO DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN DEL AGUA DE RIEGO			
Tipo de Estudio:	De laboratorio	Ensayo No. 1	
Identificación del componente de análisis:	Muestra No. 1		
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	15/11/2016
Centro de Estudios y Análisis:	Laboratorio de Ensayos Petro Amazonas		
Realizado por:	Eric Poveda	Supervisado por:	Ing. Diego Nuñez
PARÁMETROS DE LA MUESTRA			
Tipo:	Agua de riego		
Tomada de:	Tubería de Aspersión	Diámetro:	16mm
Cantidad:	2 Litros		
PARÁMETROS DEL ENSAYO			
Materiales:	Tubos de Centrífuga	Capacidad:	250 mL
		Cantidad de muestra:	200 mL
Equipos:	Centrífuga		
Tiempo que toma el Ensayo:	5 min		
RESULTADOS			
Proceso		Resultados	
			
Elaborado por: (Nombre/Firma)	Eric Poveda	Fecha:	15/11/2016
Revisado por: (Nombre/Firma)	Ing. MSc. Diego Nuñez Nuñez	Fecha:	20/01/2017

3.3.4. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

Los ensayos de laboratorio permitieron determinar que existe sólidos disueltos en el agua que a simple vista no se presentan pero una vez realizado el análisis se sabe que si, estas impurezas pueden ser las mayores causantes del taponamiento en las boquillas de los micro aspersores.

El tamaño de las partículas que se encontraron se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3-1 Tamaño de Partículas

TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS		
ENSAYO	FOTOS	MEDIDAS [mm]
1		0,8
		1,5
		1,8
		2
2		0,8
		1,2
		1,6
		1,5
Máximo		2
Mínimo		0,8
Promedio:		1,4

Para evitar taponamientos es recomendable al momento de diseñar la boquilla del micro aspersor tomar en cuenta el valor promedio de estas medidas siendo 1,4[mm].

3.4. CÁLCULOS

3.4.1. DISEÑO AGRONÓMICO

3.4.1.1. Cálculo de Evapotranspiración Potencial (ET_o)

Para realizar el cálculo de la evapotranspiración se usó la Ecuación de Hargreaves y Samani:

- Ecuación de Hargreaves:

$$ET_o = 0,0135 * (t_{med} + 17,78) * R_s \quad (\text{Ec. 3.1}) [23]$$

Dónde:

ET_o : Evapotranspiración Potencial Diaria [mm/día]

t_{med} : Temperatura media [°C]

R_s : Radiación Solar Incidente, convertida en [mm/día]

Para obtener la Radiación solar incidente (R_s) se necesita evaluar la radiación solar extraterrestre (R_o), que es la radiación solar diaria que se recibe sobre una superficie horizontal situada en el límite superior de la atmósfera.

- Ecuación de Samani:

$$R_s = R_o * KT * (t_{m\acute{a}x} - t_{m\acute{i}n})^{0,5} \quad (\text{Ec. 3.2})$$

Dónde:

R_s : Radiación Solar Incidente

R_o : Radiación Solar Extraterrestre (tabulada)

KT : Coeficiente ($KT=0,162$ para regiones del interior; $KT=0,19$ para regiones costeras)

$t_{m\acute{a}x}$: Temperatura Diaria Máxima [°C]

$t_{m\acute{i}n}$: Temperatura Diaria Mínima [°C]

La mayoría de tablas para evaluar la radiación solar extraterrestre R_o vienen dadas en función de la latitud y del mes, así se tiene entonces el valor de R_o en [MJulio. m^{-2} . día $^{-1}$] que multiplicado por el factor de conversión 0,408 lo pasamos a [mm/día].

Tabla 3-2 Radiación Extraterrestre Diaria (Ro) para diferentes latitudes para el día 15 del mes.

Lat. deg.	Southern Hemisphere											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	July	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
70	41.4	28.6	15.8	4.9	0.2	0.0	0.0	2.2	10.7	23.5	37.3	45.3
68	41.0	29.3	16.9	6.0	0.8	0.0	0.0	3.2	11.9	24.4	37.4	44.7
66	40.9	30.0	18.1	7.2	1.5	0.1	0.5	4.2	13.1	25.4	37.6	44.1
64	41.0	30.8	19.3	8.4	2.4	0.6	1.2	5.3	14.4	26.3	38.0	43.9
62	41.2	31.5	20.4	9.6	3.4	1.2	2.0	6.4	15.5	27.2	38.3	43.9
60	41.5	32.3	21.5	10.8	4.4	2.0	2.9	7.6	16.7	28.1	38.7	43.9
58	41.7	33.0	22.6	12.0	5.5	2.9	3.9	8.7	17.9	28.9	39.1	44.0
56	42.0	33.7	23.6	13.2	6.6	3.9	4.9	9.9	19.0	29.8	39.5	44.1
54	42.2	34.3	24.6	14.4	7.7	4.9	6.0	11.1	20.1	30.6	39.9	44.3
52	42.5	35.0	25.6	15.6	8.8	6.0	7.1	12.2	21.2	31.4	40.2	44.4
50	42.7	35.6	26.6	16.7	10.0	7.1	8.2	13.4	22.2	32.1	40.6	44.5
48	42.9	36.2	27.5	17.9	11.1	8.2	9.3	14.6	23.3	32.8	40.9	44.5
46	43.0	36.7	28.4	19.0	12.3	9.3	10.4	15.7	24.3	33.5	41.1	44.6
44	43.2	37.2	29.3	20.1	13.5	10.5	11.6	16.8	25.2	34.1	41.4	44.6
42	43.3	37.7	30.1	21.2	14.6	11.6	12.8	18.0	26.2	34.7	41.6	44.6
40	43.4	38.1	30.9	22.3	15.8	12.8	13.9	19.1	27.1	35.3	41.8	44.6
38	43.4	38.5	31.7	23.3	16.9	13.9	15.1	20.2	28.0	35.8	41.9	44.5
36	43.4	38.9	32.4	24.3	18.1	15.1	16.2	21.2	28.8	36.3	42.0	44.4
34	43.4	39.2	33.0	25.3	19.2	16.2	17.4	22.3	29.6	36.7	42.0	44.3
32	43.3	39.4	33.7	26.3	20.3	17.4	18.5	23.3	30.4	37.1	42.0	44.1
30	43.1	39.6	34.3	27.2	21.4	18.5	19.6	24.3	31.1	37.5	42.0	43.9
28	43.0	39.8	34.8	28.1	22.5	19.7	20.7	25.3	31.8	37.8	41.9	43.8
26	42.8	39.9	35.3	29.0	23.5	20.8	21.8	26.3	32.5	38.0	41.8	43.3
24	42.5	40.0	35.8	29.8	24.6	21.9	22.9	27.2	33.1	38.3	41.7	43.0
22	42.2	40.1	36.2	30.6	25.6	23.0	24.0	28.1	33.7	38.4	41.4	42.6
20	41.9	40.0	36.6	31.3	26.6	24.1	25.0	28.9	34.2	38.6	41.2	42.1
18	41.5	40.0	37.0	32.1	27.5	25.1	26.0	29.8	34.7	38.7	40.9	41.7
16	41.1	39.9	37.2	32.8	28.5	26.2	27.0	30.6	35.2	38.7	40.6	41.2
14	40.6	39.7	37.5	33.4	29.4	27.2	27.9	31.3	35.6	38.7	40.2	40.6
12	40.1	39.6	37.7	34.0	30.2	28.1	28.9	32.1	36.0	38.6	39.8	40.0
10	39.5	39.3	37.8	34.6	31.1	29.1	29.8	32.8	36.3	38.5	39.3	39.4
8	38.9	39.0	37.9	35.1	31.9	30.0	30.7	33.4	36.6	38.4	38.8	38.7
6	38.3	38.7	38.0	35.6	32.7	30.9	31.5	34.0	36.8	38.2	38.2	38.0
4	37.6	38.3	38.0	36.0	33.4	31.8	32.3	34.6	37.0	38.0	37.6	37.2
2	36.9	37.9	38.0	36.4	34.1	32.6	33.1	35.2	37.1	37.7	37.0	36.4
0	36.2	37.5	37.9	36.8	34.8	33.4	33.9	35.7	37.2	37.4	36.3	35.6

Fuente: "FAO Corporate Document Repository." Internet:

<http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e0j.htm#annex>, [May. 25, 2016].

La Ciudad de Ambato se encuentra a una latitud sur de 1°, por lo tanto se tiene la radiación extraterrestre multiplicada por el factor de conversión 0,408.

Tabla 3-3 Temperatura Promedio y Radiación Extraterrestre para una latitud sur de 1° para la Ciudad de Ambato.

Clima Ambato (°C)			Radiación extraterrestre Ro		
	T máx.	T mín.	T prom.	Latitud 1° Sur	Ro
ENERO	18,9	9,9	14,4	36,55	14,91
FEBRERO	18,9	10,1	14,5	37,7	15,38
MARZO	18,8	10,2	14,5	37,95	15,48
ABRIL	19,1	10,2	14,7	36,6	14,93
MAYO	19,2	10	14,6	34,45	14,06
JUNIO	19,4	9,6	14,5	33	13,46
JULIO	19,7	9,1	14,4	33,5	13,67
AGOSTO	20,2	9,3	14,8	35,45	14,46
SEPTIEMBRE	20,3	9,3	14,8	37,15	15,16
OCTUBRE	19,8	9,5	14,7	37,55	15,32
NOVIEMBRE	19,3	9,6	14,5	36,65	14,95
DICIEMBRE	19,1	9,7	14,4	36	14,69

Fuente: Autor.

Reemplazando la ecuación de Samani con un valor $KT=0,162$ (para regiones del interior), en la ecuación de Hargreaves se obtiene los valores de evapotranspiración de todos los meses del año; para motivos de diseño agronómico se selecciona el de mayor valor del mes que corresponda.

Tabla 3-4 Valor de Evapotranspiración

Mes	mm/día
ENERO	3,15
FEBRERO	3,22
MARZO	3,21
ABRIL	3,16
MAYO	3,02
JUNIO	2,98
JULIO	3,13
AGOSTO	3,40
SEPTIEMBRE	3,58
OCTUBRE	3,49
NOVIEMBRE	3,28
DICIEMBRE	3,17

Fuente: Autor

Por lo tanto se toma el valor de **3,58** [mm/día] del mes de Septiembre.

3.4.1.2. Cálculo de la Evapotranspiración del Cultivo (ET_c)

Para obtener la evapotranspiración del cultivo es necesario evaluar el coeficiente de desarrollo (K_c), el cual integra el efecto de la transpiración de las plantas y la evaporación del suelo; los valores de K_c comienzan siendo pequeños y aumentan a medida que la planta cubre más el suelo.

Según la gráfica de la presentada por la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) el valor de K_c es 0,7 para el cultivo de pera de 2 años de injerto (desarrollo del cultivo) que se está estudiando en este proyecto.

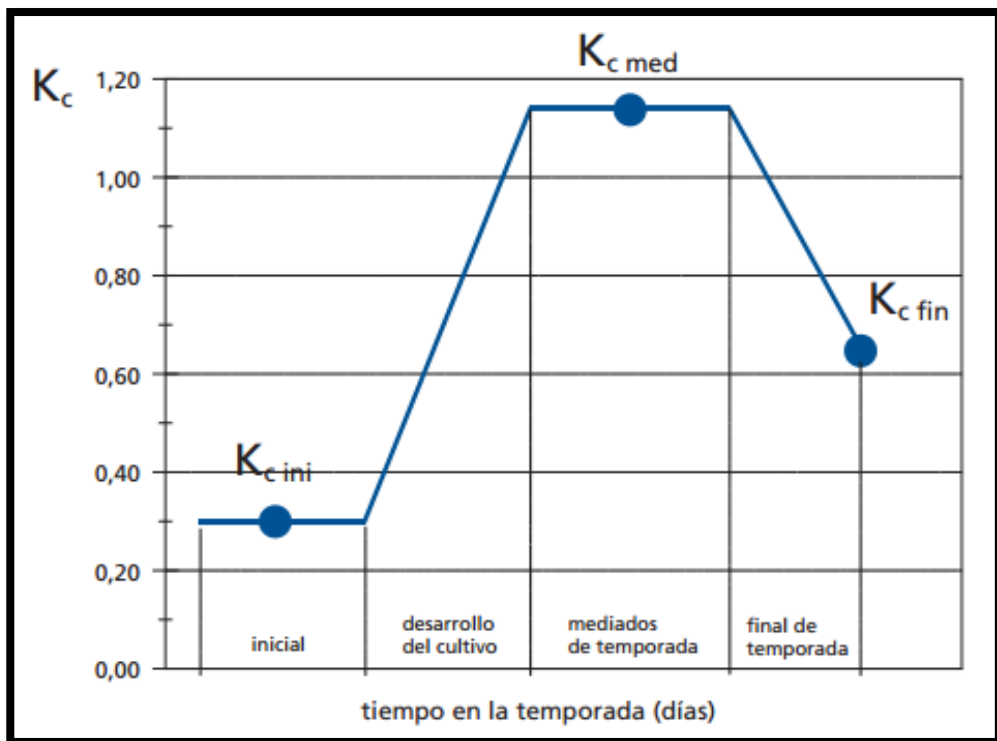


Fig. 3-10 Curva del Coeficiente del Cultivo

Fuente: R. Allen. (2006). *Estudio FAO Riego y Drenaje*. (1era Edición). [On -line]. ISSN (0254-5293).

Disponible: <ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/idp56s.pdf> [May. 25, 2016].

Por lo tanto aplicando la siguiente formula tendremos:

$$ET_c = ET_o * K_c \quad (\text{Ec. 3.3}) \quad [24]$$

Dónde:

ET_c: Evapotranspiración del Cultivo

ET_o : Evapotranspiración Potencial

K_c : Coeficiente de Desarrollo del Cultivo

$$ET_c = 3,58 \left[\frac{mm}{día} \right] * 0,7$$

$$ET_c = 2,506 \left[\frac{mm}{día} \right]$$

3.4.1.3. Cálculo de la Dosis de Riego (DR)

$$DR = f * (cc - PMP) * Da * Pr * \frac{10}{Ef} \quad (\text{Ec. 3.4}) [25]$$

Dónde:

Dr: Dosis de Riego

f: Factor de abatimiento

cc: Capacidad de campo

PMP: Punto de marchitamiento permanente.

Da: Densidad Aparente.

Pr: Profundidad de raíces.

Ef: Eficiencia del sistema (micro aspersión)

a) Factor de Abatimiento (f)

Este factor se obtuvo de la siguiente tabla es el agua disponible para un suelo franco arenoso:

Tabla 3-5 Factor de Abatimiento (agua disponible %)

Textura	AGUA DEL SUELO (% V) 10cm		
	CAPACIDAD DE CAMPO	Punto de Marchitez Permanente	Agua Disponible
Arenoso	9	2	7
Arenoso Franco	14	4	10
Franco Arenoso	23	9	14
Franco	34	12	22
Franco Arcilloso	30	16	14
Arcilloso	38	24	14
Arcilloso Bien estructurado	50	30	20

Fuente: A. Silva. “Agua en el suelo”, Universidad de la República, Facultad de Agronomía, Internet: <http://www.fagro.edu.uy/hidrologia/paisajismo/AGUA%20EN%20EL%20SUELO.pdf> [May. 26, 2016]

Por lo tanto el valor de f será 14% (0,14).

a) Capacidad de Campo y Punto de Marchitamiento

Estos dos valores determinan los límites máximos y mínimos de humedad presente en el suelo y que es aprovechada por los cultivos.

Tabla 3-6 Humedad en el Suelo

HUMEDAD EN EL SUELO			
Textura del suelo	Capacidad del campo	Punto de marchitamiento	Humedad disponible
Arenoso	9%	2%	7%
Arenoso – franco	14%	4%	10%
Franco arenoso – limoso	23%	9%	14%
Franco arenoso + materia orgánica	29%	10%	19%
Franco	34%	12%	22%
Franco – arcilloso	30%	16%	14%
Arcilloso	38%	34%	14%
Arcilloso con buena estructura	50%	30%	20%

Fuente: Traxco. “Humedad en Suelos de Diferente Textura.” Internet: <http://www.traxco.es/blog/tecnologia-del-riego/humedad-en-suelos-de-diferente-textura>, Dic. 10, 2009 [May. 26, 2016].

Por lo tanto el valor de cc y PMP serán 29% y 10% respectivamente para un suelo franco arenoso con materia orgánica.

a) Densidad Aparente (Da)

Para Reynolds et al. [26], la densidad aparente recomendada para jardinería urbana puede estar entre 1,1 y 1,4 [Mg. m⁻³], dependiendo de la textura del terreno.

Por lo tanto para este caso tomaremos un valor de 1,25 [Mg. m⁻³].

b) Profundidad de Raíces (Pr)

Según la Allen [27], la profundidad radicular máxima de las manzanas, cerezas y peras se encuentran entre 1 y 2[m].

Por lo tanto tomaremos un valor de 1,5[m] para las peras.

c) Eficiencia del Sistema (Ef)

Según Antúnez et al. [28], la eficiencia de riego por micro aspersion es del 85%.

Aplicando la Ecuación 3.4 tenemos:

$$Dr = f * (cc - PMP) * Da * Pr * \frac{10}{Ef}$$

$$Dr = (0,14) * (29 - 10) * (1,25) * (1,5) * \frac{10}{0,85}$$

$$DR = 58,7 [mm]$$

3.4.1.4. Cálculo del Intervalo de Tiempo de Riego (IR)

$$IR = \frac{DR}{ET_c} \quad (\text{Ec. 3.5}) [29]$$

$$IR = \frac{58,7 [mm]}{2,506 [\frac{mm}{día}]}$$

$$IR = 23,4 \text{ días}$$

$$IR = 24 \text{ días}$$

Por lo tanto el riego debe programarse para un intervalo máximo de 24 días en el suelo franco arenoso.

Por otro lado como se indica en infoAgro [30], el peral necesita entre 700 y 800 mm de agua anuales por lo que para este caso se tiene:

$$24 \text{ [días]} * 12 \text{ [meses]} = 300 \text{ días} \quad (\text{Ec. 3.6})$$

$$300 \text{ días} * 2,506 \text{ [mm * día]}$$

$$721,7 \text{ [mm anuales]}$$

También se ha tomado como referencia la tabla 3.6 del manual FAO sobre técnicas de riego presurizado:

Tabla 3-7 Horario de riego para micro aspersores

HORARIO DE RIEGO PARA MICRO ASPERSORES				
Edad de árboles (años)	Litros por árbol al día	Intervalo de riego en días	Dosis de riego por árbol en litros	Tiempo de operación en horas
1-2	8-15	4-6	60	0.5
3-4	20-40	6-7	200	1.6
4-6	50-60	7	380	3.0
7 plus	80-120	7-10	900	7.5

Fuente: Technical Handbook On Pressurized Irrigation Techniques, *Food And Agriculture Organization Of The United Nations*, FAO Consultant, pp. 119, 2000.

Tomando los siguientes datos:

- Árboles de 2 años
- 8 Litros por árbol al día
- 4 días de intervalo de riego

Entonces se tiene que abastecer con los micro aspersores 8 [lts/día] en un intervalo de 4 días, en un mes tendremos que regar cada 7,5 días (8días) que al mes sería 60 litros mensuales y en un año 720 litros; como se sabe un mm de agua es 1 litro de agua en un espacio de 1 metro cuadrado se obtiene como respuesta similar a lo calculado anteriormente 721,7 [mm/anuales] corroborando esta respuesta.

El tiempo de operación será determinado en función del caudal que arroje la boquilla del micro aspersor y será detallado al final de este proyecto en las especificaciones de riego.

3.4.2. DISEÑO HIDRÁULICO

Se asume colocar 7 micro aspersores por hilera, es decir en cada árbol tomando en cuenta la información de la tabla 3.6 con los valores mínimos de 70 [Lts/h] a 2 bares y una separación de 3 metros; estos valores serán corroborados luego del diseño hidráulico.

Tabla 3-8 Número máximo de micro aspersores

NÚMERO MÁXIMO DE MICRO ASPERSORES CAUDAL DE MICRO ASPERSORES A 2 BARES						
70 litros/h			120 litros/h		150 litros/h	
Lateral size and spacing (metres)	Max. no. of mini-sprinklers	Lateral length (metres)	Max. no. of mini-sprinklers	Lateral length (metres)	Max. no. of mini-sprinklers	Lateral length (metres)
16 mm 3	10	30	7	21	6	18
4	9	36	6	24	6	24
5	8	40	6	30	5	25
6	8	42	5	30	5	30
8	7	56	5	40	4	32
20 mm 3	16	48	11	33	9	27
4	15	60	10	40	9	36
5	14	70	9	45	8	40
6	13	78	9	54	8	48
8	11	88	8	64	7	56
25 mm 3	25	75	18	54	15	45
4	22	88	16	64	14	56
5	20	100	15	75	13	65
6	19	114	14	84	12	72
7	18	144	12	96	11	88

Fuente: Technical Handbook on Pressurized Irrigation Techniques, *Food And Agriculture Organization Of The United Nations*, FAO Consultant, pp. 120, 2000.

En la figura (3.12) se muestra como están distribuidas las tuberías en el terreno y la localización de los árboles de pera con sus respectivas medidas; el terreno se encuentra en una pendiente de 15m.

El tanque que proporciona el agua por gravedad está representado de color azul, la tubería de 3 pulgadas está representada de color rojo, la de 2 pulgadas de color amarillo, y la tubería en las líneas de aspersión de color verde.

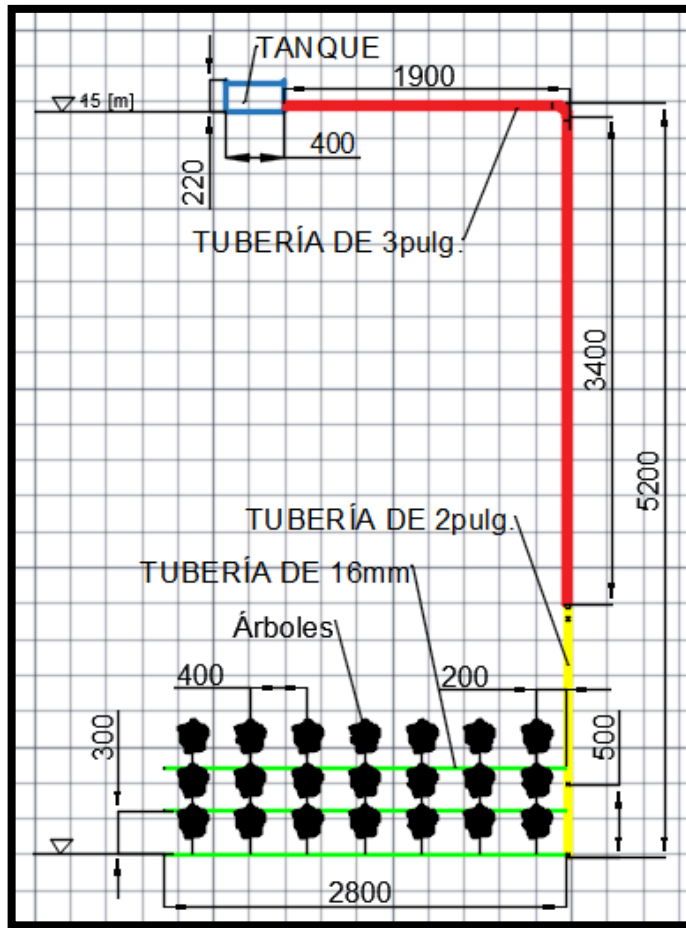


Fig. 3-11 Esquema del Terreno (Longitudes y Diámetros de Tubería)

Fuente: Autor

3.4.2.1. Cálculo de Presiones y Pérdidas de Energía

Para comenzar con el cálculo de presiones es necesario evaluar de forma experimental el caudal que fluye a través de las tuberías de 3 y 2 pulgadas. Se usó un recipiente de 19 Litros de capacidad y con un cronómetro se determinó el tiempo de llenado; obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 3-9 Tiempo tomado para cálculo de caudal (Tubería 3 y 2 pulg.)

TIEMPO (s)	
T1	11,93
T2	11,78
T3	11,87
Promedio	11,86

Fuente: Autor

$$19 \text{ Lt} = 0,019 \text{ m}^3$$

$$Q = \frac{V}{t} \quad (\text{Ec. 3.7}) [31]$$

$$Q = \frac{0,019 \text{ m}^3}{11,86 \text{ s}}$$

$$Q = 0,0016 \text{ [m}^3/\text{s]}$$

De igual manera se calculó el caudal en la tubería de 16mm en la cual estarán instalados los micro aspersores.



Fig. 3-12 Determinación de Caudal (Método Experimental)

Fuente: Autor

Tabla 3-10 Tiempo tomado con cronómetro para calcular caudal (Tubería 16 mm)

TIEMPO (s)	
T1	41,87
T2	42,26
3	42,33
Promedio	42,15

Fuente: Autor

$$Q = \frac{0,019 \text{ m}^3}{42,15 \text{ s}} \quad (\text{Ec. 3.8})$$

$$Q = 0,0005 [\text{m}^3/\text{s}]$$

$$Q = v_1 * A_1 \quad (\text{Ec. 3.9}) [37]$$

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

$$v_1 = \frac{0,0016 \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{\pi * (0,0762 \text{ m})^2}{4}}$$

$$v_1 = 0,3508 [\text{m}/\text{s}]$$

Se parte calculando la Presión 1 (P1) según el gráfico la cual se encuentra a la entrada de la tubería de 3 pulgadas.

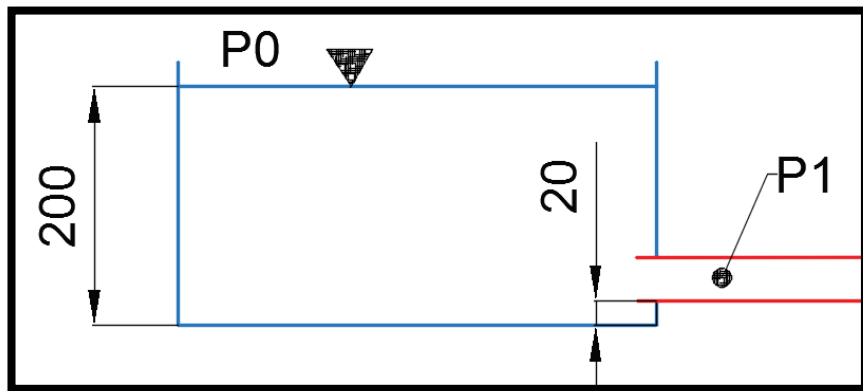


Fig. 3-13 Esquema Presión inicial y Presión 1(Tanque y Tubería 3pulg.)

Fuente: Autor

Aplicando la ecuación de Bernoulli se tiene:

$$\frac{P_0}{\gamma} + Z_0 + \frac{v_0^2}{2g} - hL = \frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} \quad (\text{Ec. 3.10}) [37]$$

$$P_1 = \gamma \left[(Z_0 - Z_1) - \frac{v_1^2}{2g} - hL \right]$$

$$P_1 = (9,81 \text{ KN/m}^3) \left[(2 - 0,2) - \frac{(0,3508 \text{ m/s})^2}{2 * 9,81 \text{ m/s}^2} - hL \right]$$

Se evalúa las pérdidas a la entrada del tanque según la siguiente figura:

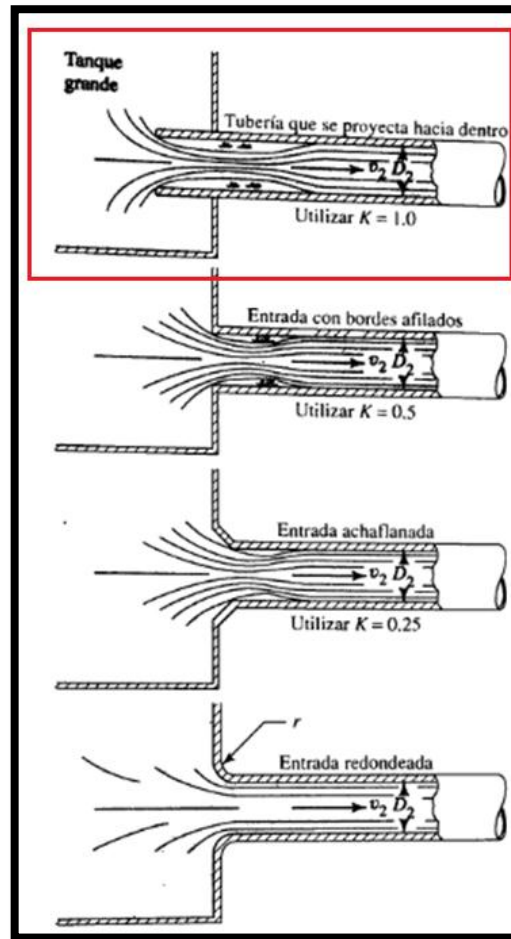


Fig. 3-14 Coeficientes de Resistencia de Entradas

Fuente: R. Mott. *Mecánica de Fluidos*. México: Pearson Educación S.A., 2006, pp. 293.

Se toma el primer caso: Tubería que se proyecta hacia adentro con un valor de $k=1$.

Por lo tanto:

$$hL = k * \frac{v_1^2}{2g} \quad (\text{Ec. 3.11}) [37]$$

$$hL = 1 * \frac{(0,3508 \text{ m/s})^2}{2 * 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$hL = 0,0063 [m]$$

Volviendo a la Ecuación 3.10 de Bernoulli:

$$P_1 = (9,81 \text{ KN/m}^3) \left[(2 - 0,2) - \frac{\left(0,3508 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9,81 \frac{m}{s^2}} - 0,0063 \right]$$

$$P_1 = 17,53 [KPa]$$

La presión a la salida del tanque es de 17,53 [KPa].

Ahora se calculará las presiones a la entrada de las Tuberías de aspersión P2, P3 y P4 como se muestra en la siguiente figura:

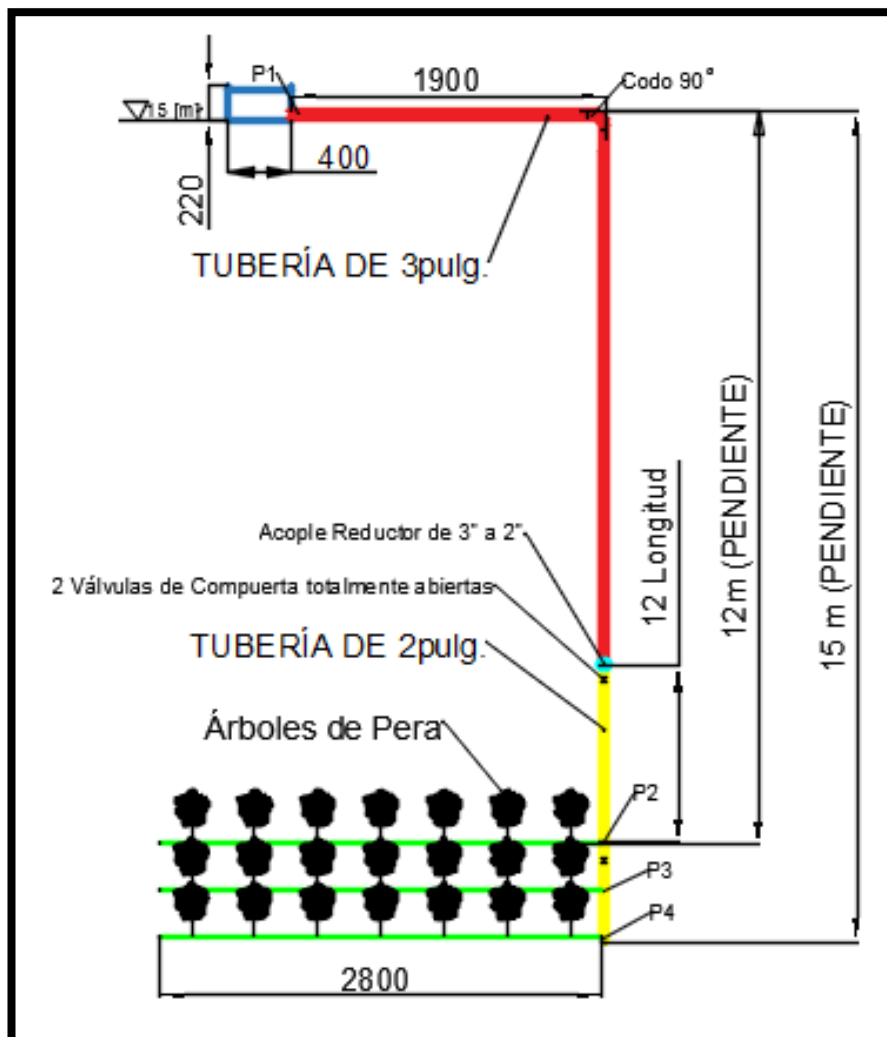


Fig. 3-15 Esquema Presiones en Línea de Aspersión

Fuente: Autor

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

Velocidad por la tubería de 2 pulgadas:

$$Q = v_2 * A_2 \quad (\text{Ec. 3.12})$$

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

$$v_2 = \frac{0,0016 \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{\pi * (0,0508 \text{ m})^2}{4}}$$

$$v_2 = \mathbf{0,78 \text{ [m/s]}}$$

Se evalúa las pérdidas:

$$hL_{total} = 3 \text{ Válvulas de compuerta totalmente abiertas} + 1 \text{ codo de } 90^\circ + \text{ Pérdidas por fricción} + 1 \text{ Acople reductor de 3 a 2 pulgadas} \quad (\text{Ec. 3.13})$$

3.4.2.1.1. Pérdidas de Energía en Válvulas de Compuerta

En el sistema de tuberías se encuentran 3 válvulas de compuerta que funcionen abiertas por completo y una de ellas se localiza en la tubería de 3 pulgadas y las otras dos en la tubería de 2 pulgadas; 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:

$$8f_T$$

Tabla 3-11 Coeficientes de Resistencia de Válvulas y Acoplamientos

Tipo	Longitud equivalente en diámetros de conducto, L_e/D
Válvula de globo—completamente abierta	340
Válvula de ángulo—completamente abierta	150
Válvula de compuerta—completamente abierta	8
—3/4 abierta	35
—1/2 abierta	160
—1/4 abierta	900
Válvula de verificación—tipo giratorio	100
Válvula de verificación—tipo de bola	150
Válvula de mariposa—completamente abierta	45
Codo estándar de 90°	30
Codo de radio de largo de 90°	20
Codo de calle de 90°	50
Codo estándar de 45°	16
Codo de calle de 45°	26
Codo de devolución cerrada	50
Te estándar—con flujo a través de un tramo	20
Te estándar—con flujo a través de una rama	60

Fuente: R. Mott. *Mecánica de Fluidos*. México: Pearson Educación S.A., 2006, pp. 297.

Se obtiene un valor $\frac{L_e}{D} = 8$

Tabla 3-12 Factor de Fricción

Tamaño nominal de la tubería (pulg)	Factor de fricción f_f	Tamaño nominal de la tubería (pulg)	Factor de fricción f_f
1/2	0.027	3 1/2, 4	0.017
3/4	0.025	5	0.016
1	0.023	6	0.015
1 1/4	0.022	8–10	0.014
1 1/2	0.021	12–16	0.013
2	0.019	18–24	0.012
2 1/2, 3	0.018		

Fuente: R. Mott. *Mecánica de Fluidos*. México: Pearson Educación S.A., 2006, pp. 297.

De la tabla 3-12 se tiene los Factores de fricción para cada tubería:

- $f_T = 0,018$ Para tubería de 3 pulgadas
- $f_T = 0,019$ Para tubería de 2 pulgadas

Se calcula el valor de k:

$$k_{3pulg} = 8 * f_T \quad (\text{Ec. 3.14})$$

$$k_{3pulg} = 8 * 0,018$$

$$k_{3pulg} = 0,144$$

$$k_{2pulg} = 8 * 0,019$$

$$k_{2pulg} = 0,152$$

Se determina entonces las pérdidas de energía:

$$hL = k_{3pulg} * \frac{v_1^2}{2g} \quad (\text{Ec. 3.15})$$

$$hL = 0,144 * \frac{(0,3508 \text{ m/s})^2}{2 * 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$hL = 9,03 \times 10^{-4} \text{ [m]}$$

$$hL = 2 * \left[k_{2pulg} * \frac{v_2^2}{2g} \right] \quad (\text{Ec. 3.16})$$

$$hL = 2 * \left[0,152 * \frac{(0,78 \text{ m/s})^2}{2 * 9,81 \text{ m/s}^2} \right]$$

$$hL = 9,43 \times 10^{-3} \text{ [m]}$$

3.4.2.1.2. Pérdidas de Energía en Codos de 90°

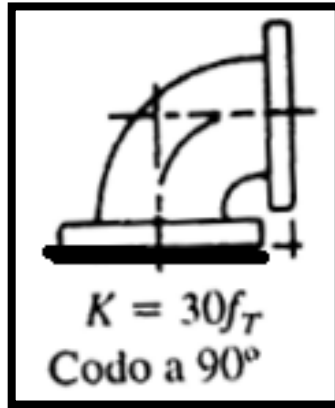


Fig. 3-16 Codos de Tubería

Fuente: R. Mott. *Mecánica de Fluidos*. México: Pearson Educación S.A., 2006, pp. 296.

Como el codo de 90° se encuentra en la tubería de 3 pulgadas se toma el valor $f_T = 0,018$ y se calcula:

$$k = 30 f_T \quad (\text{Ec. 3.17}) [37]$$

$$k = 30 * 0,018$$

$$k = 0,54$$

$$hL = k * \frac{v_1^2}{2g} \quad (\text{Ec. 3.18}) [37]$$

$$hL = 0,54 * \frac{(0,3508 \text{ m/s})^2}{2 * 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$hL = 3,4 \times 10^{-3} \text{ [m]}$$

3.4.2.1.3. Pérdidas de Energía debido a la Fricción

$$h_L = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g} \quad (\text{Ec. 3.19}) [37]$$

Para obtener el factor de fricción f se debe evaluar el número de Reynolds en la tubería de 3 pulgadas y de 2 pulgadas; también se tomará en cuenta la Rugosidad ϵ , para luego mediante el diagrama de Moody determinar f .

Número de Reynolds para la tubería de 3 pulg.

$$N_{R1} = \frac{v_1 * D_1}{\mu} \quad (\text{Ec. 3.20}) [37]$$

La viscosidad cinemática (μ) del agua a 25°C es $8,94 * 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$

$$N_{R1} = \frac{(0,3508 \text{ m/s}) * (0,0762 \text{ m})}{8,94 * 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$N_{R1} = 29900,4 \text{ (Flujo Turbulento)}$$

Tabla 3-13 Rugosidad de los Materiales

Material	Rugosidad ϵ (m)	Rugosidad ϵ (pie)
Vidrio	Liso	Liso
Plástico	3.0×10^{-7}	1.0×10^{-6}
Tubo extruido; cobre, latón y 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, recubierto	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Hierro dúctil, no recubierto	2.4×10^{-4}	8.0×10^{-4}
Concreto, bien fabricado	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Acero remachado	1.8×10^{-3}	6.0×10^{-3}

Fuente: R. Mott. *Mecánica de Fluidos*. México: Pearson Educación S.A., 2006, pp. 235.

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

Se calcula:

$$\frac{D}{\epsilon} = \frac{0,0762 \text{ m}}{3 * 10^{-7} \text{ m}} = 254000$$

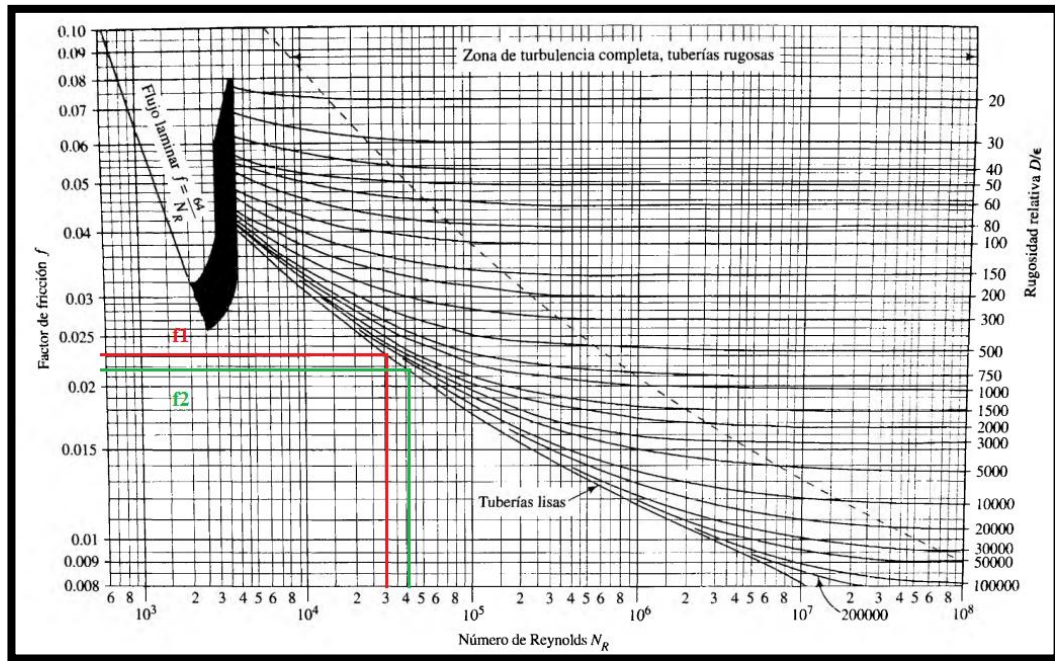


Fig. 3-17 Diagrama de Moody

Fuente: R. Mott. *Mecánica de Fluidos*. México: Pearson Educación S.A., 2006, pp. 237.

El factor de fricción f_1 según el diagrama de Moody es: 0,023 entonces aplicando ecuación (3.19) se tiene:

$$h_L = 0,023 * \frac{53}{0,0762} * \frac{(0,3508 \text{ m/s})^2}{2 * 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_L = 0,1003 \text{ [m]}$$

Número de Reynolds para la tubería de 2 pulg.

$$N_{R2} = \frac{v_2 * D_2}{\mu} \quad (\text{Ec. 3.21})$$

$$N_{R2} = \frac{(0,78 \text{ m/s}) * (0,0508 \text{ m})}{8,94 * 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$N_{R2} = 44322,15 \text{ (Flujo Turbulento)}$$

Se calcula:

$$\frac{D}{\varepsilon} = \frac{0,0508 \text{ m}}{3 * 10^{-7} \text{ m}} = 169333,33$$

El factor de fricción f_2 según el diagrama de Moody es: 0,021 aplicando ecuación (3.19) se tiene:

$$h_L = 0,021 * \frac{12}{0,0508} * \frac{(0,78 \text{ m/s})^2}{2 * 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_L = 0,1538 \text{ [m]}$$

3.4.2.1.4. Pérdidas por Energía debido a Contracción Súbita:

$$hL = k * \frac{v^2}{2g} \quad (\text{Ec. 3.22}) [37]$$

El Coeficiente k depende del tamaño de las dos tuberías y de la velocidad de flujo.

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{0,0762}{0,0508} = 1,5$$

Velocidad de la tubería de 2 pulgadas = 0,78

Tabla 3-14 Coeficiente de resistencia-contracción súbita

D_1/D_2	velocidad v_2								
	0.6 m/s 2 pies/s	1.2 m/s 4 pies/s	1.8 m/s 6 pies/s	2.4 m/s 8 pies/s	3 m/s 10 pies/s	4.5 m/s 15 pies/s	6 m/s 20 pies/s	9 m/s 30 pies/s	12 m/s 40 pies/s
1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.1	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06
1.2	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.09	0.10	0.11
1.4	0.17	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18	0.19	0.20
1.6	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.25	0.25	0.25	0.24
1.8	0.34	0.34	0.34	0.33	0.33	0.32	0.31	0.29	0.27
2.0	0.38	0.37	0.37	0.36	0.36	0.34	0.33	0.31	0.29
2.2	0.40	0.40	0.39	0.39	0.38	0.37	0.35	0.33	0.30
2.5	0.42	0.42	0.41	0.40	0.40	0.38	0.37	0.34	0.31
3.0	0.44	0.44	0.43	0.42	0.42	0.40	0.39	0.36	0.33
4.0	0.47	0.46	0.45	0.45	0.44	0.42	0.41	0.37	0.34
5.0	0.48	0.47	0.47	0.46	0.45	0.44	0.42	0.38	0.35
10.0	0.49	0.48	0.48	0.47	0.46	0.45	0.43	0.40	0.36
∞	0.49	0.48	0.48	0.47	0.47	0.45	0.44	0.41	0.38

Fuente: R. Mott. *Mecánica de Fluidos*. México: Pearson Educación S.A., 2006, pp. 288.

Interpolando en el rango seleccionado se obtiene un valor $k= 0,215$

$$hL = 0,215 * \frac{(0,78 \text{ m/s})^2}{2 * 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$hL = 6,66 \times 10^{-3} \text{ [m]}$$

Las pérdidas totales son:

$$h_{LTotales} = (\text{Válvula de compuerta en la Tubería 1} + 2 \text{ Válvulas de compuerta en la Tubería 2} + \text{Codo de } 90^\circ \text{ en tubería 1} + \text{Pérdida por fricción en tubería 1} + \text{Pérdida por fricción en tubería 2} + \text{Pérdida debido a contracción súbita}) \quad (\text{Ec. 3.23})$$

$$h_{LTotales} = (9,03 * 10^{-4} + 9,43 * 10^{-3} + 3,4 * 10^{-3} + 0,1003 + 0,1538 + 6,66 * 10^{-3}) \text{ m}$$

$$h_{LTotales} = 0,2745 \text{ [m]}$$

Volviendo a la ecuación 3.10 de Bernoulli para obtener P2

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} - hL = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (\text{Ec. 3.24}) \text{ [37]}$$

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

$$P_2 = 17,53[\text{KPa}] + 9,81[\text{KN/m}^3] * \left[(12 - 0) + \frac{[0,3508^2 - 0,78^2]}{2 * 9,81 \text{ m/s}^2} + 0,2745 \right]$$

$$P_2 = 137,7[\text{KPa}]$$

Las presiones en los puntos P3 y P4 de la figura (3-16) no varían significativamente y son muy similares a la Presión en el P2, por lo cual se tomará el valor de 137,7 [KPa], es decir 20 [psi] para realizar el diseño de los micro aspersores en el software.

3.4.2.2. Comprobación de Resultados

Los resultados obtenidos manualmente se comprobaron mediante software arrojando resultados similares, primero se muestra un gráfico del sistema completo representando la localización del tanque que se encuentra a 15m de altura el cual

proporciona el agua mediante gravedad por las respectivas tuberías hasta abastecer al cultivo.

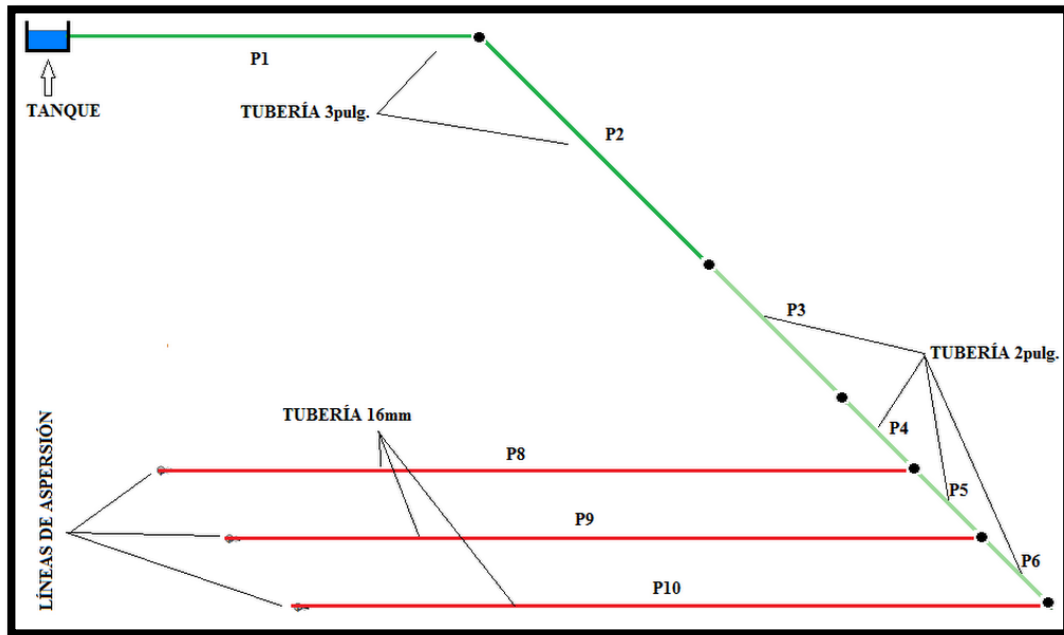


Fig. 3-18 Red de Distribución de Agua (Software)

Fuente: Autor

El caudal que fluye por las tuberías de 3 y 2 pulgadas se calculó de forma experimental; luego mediante cálculos se obtuvo la velocidad en la tubería de 3 pulgadas obteniendo los siguientes resultados que fueron muy similares a los obtenidos mediante software y que se presentan en la figura 3.20.

$$Q_1 = 0,0016 \text{ [m}^3\text{/s]}$$

$$v_1 = 0,3508 \text{ [m/s]}$$

$$P_1 = 17,53 \text{ [KPa]} = 0,1760 \text{ [bares]}$$

$$h_L = 0,0063 \text{ [m]}$$

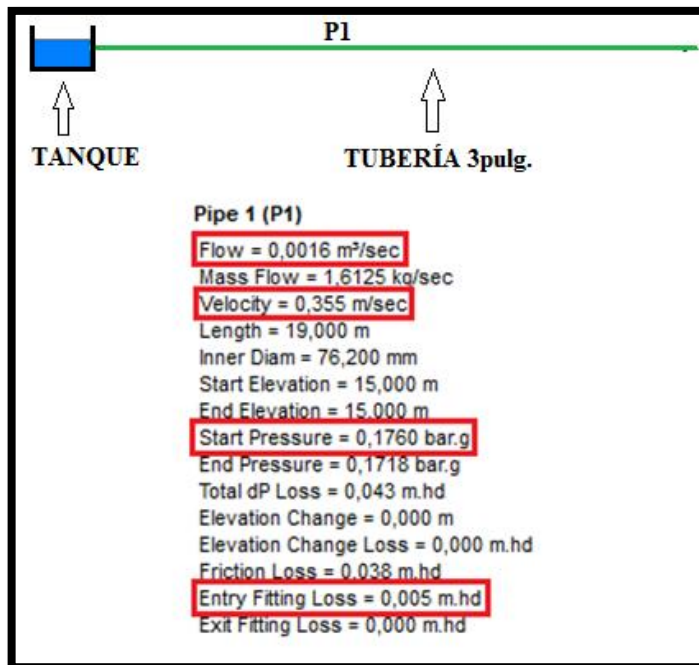


Fig. 3-19 Resultados Tubería de 3 pulg. (P1)

Fuente: Autor

En la tubería de 2 pulgadas manualmente se obtuvo los siguientes resultados de velocidad y presión.

- $v_2 = 0,78 [m/s]$
- $P_2 = 137,7[KPa]$

Mediante software se determinaron valores similares:

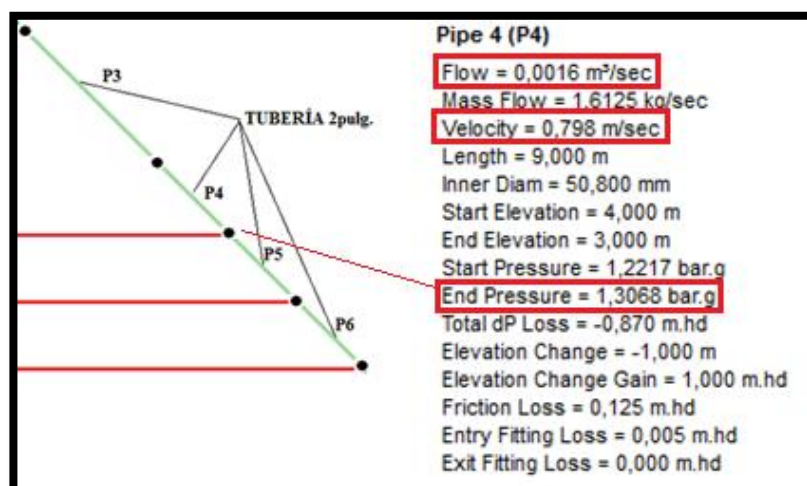


Fig. 3-20 Resultados Tubería 2 pulg. (P3)

Fuente: Autor

3.5. DISEÑO DE MICRO ASPERSORES MEDIANTE SOFTWARE

Previo a la modelación de micro aspersores se han diseñado 6 modelos diferentes en los cuales se han variado principalmente sus orificios de entrada haciéndolos cónico o rectos tomando en cuenta también los valores de la tabla [3-5] para modificar el diámetro ya que estos indican el tamaño de las partículas e impurezas que podrían causar los taponamientos, siendo el promedio de 1,4[mm] de las partículas que se midieron.

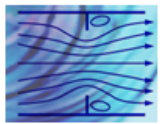
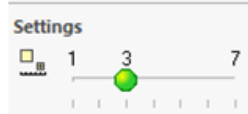

También se realizaron variaciones en sus ángulos entre 40° y 100° con el objetivo de mejorar su alcance y mantener un caudal apropiado; por otro lado 4 de los 6 diseños se los realizó de un diámetro mayor para de igual manera aumentar el diámetro del orificio de aspersión (ver anexo C).

3.6. COMPORTAMIENTO DE MICRO ASPERSORES EN SOFTWARE

3.6.1. PARÁMETROS DE SOFTWARE

Para las pruebas de evaluación de cada diseño de micro aspersor se usó Software SolidWorks Flow Simulation el cual permitió determinar el comportamiento del agua dentro de la boquilla del aspersor 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 se muestran en la tabla 3-15 a continuación; en la tabla 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 en la cual el software nos facilita un rango del 1 al 7 para lo que hemos tomado 3, y su refinamiento en un rango del 1 al 9 y se ha tomado 2.

Tabla 3-15 Parámetros de Software

Parámetros Usados para el Software	
Tipo de Análisis	<p style="text-align: center;">Interno</p> 
Fluido	Agua
Parámetros Termodinámicos	
Presión	101325 [Pa]
Temperatura	293,2 [K]
Parámetros de Turbulencia	
Intensidad	2% I-L k-ε I _t 2% f_w
Longitud	0,00007 L_t 7e-005 m f_w
Energía Turbulenta	1 J/kg I-L k-ε k 1 J/kg f_w
Disipación Turbulenta	1 W/kg ε 1 W/kg f_w
Configuraciones de la Malla	
Nivel de Malla	Valor de 3 en un rango de 1 @ 7 
Nivel de Refinamiento	Valor de 2 en un rango de 1 @ 9 

Fuente: Autor

Primero se muestra el micro aspersor original y a continuación los rediseños que mediante software y usando parámetros de entrada (presión) y de salida (caudal) se determinó su comportamiento y velocidad de salida.

3.6.2. MICRO ASPERSOR ORIGINAL:

El micro aspersor original tiene un orificio cónico que va de 2mm a 1mm, el parámetro de entrada que se usó es la presión de 20 [Psi], la cual va a ser la misma en todos los casos, ya que como se dijo anteriormente esta presión se va a mantener constante en toda la tubería de aspersión; mientras que el parámetro de salida será el caudal que arroja cada micro aspersor de acuerdo a su diseño y que será determinado mediante pruebas experimentales; en este caso el caudal que arrojo el micro aspersor original es de 0,6 [L/min].

Los parámetros planteados en el software son:

- Presión de entrada = 137895,15 [Pa] = **20 [Psi]**
- Caudal de Salida = $1 \cdot 10^{-5}$ [m^3/s] = **0,6 [l/min]**

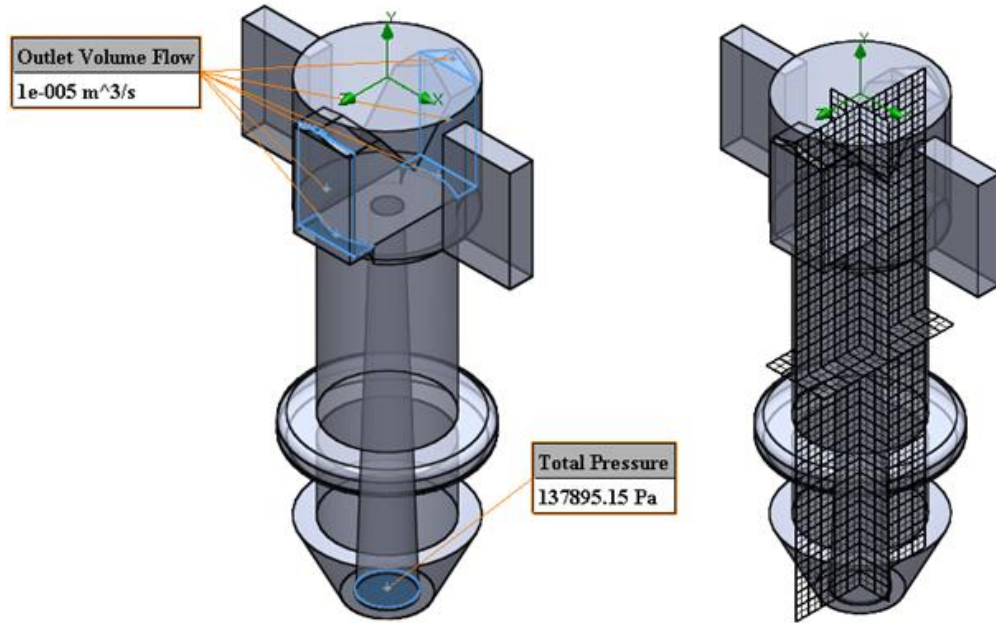


Fig. 3-21 Condiciones de Contorno y Mallado (Original)

Fuente: Autor

Velocidad:

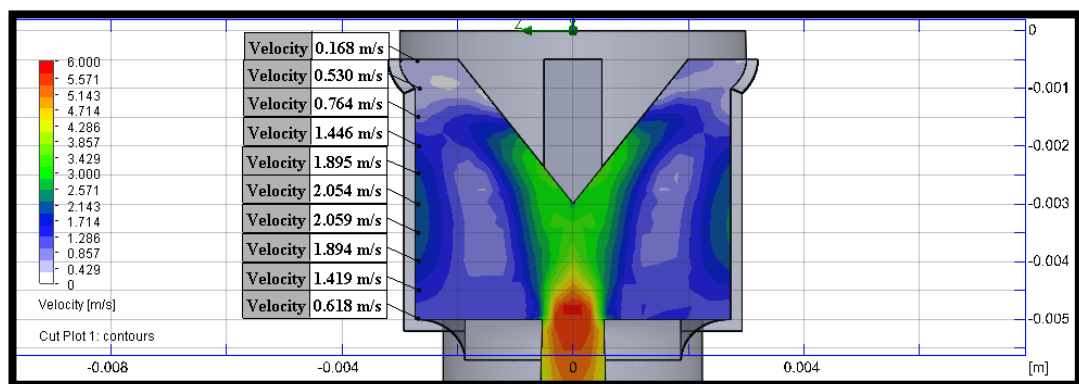


Fig. 3-22 Velocidad a la Salida del Micro Aspensor (Original)

Fuente: Autor

3.6.3. DISEÑO 1

El diseño de este micro aspersor es similar al original con la única variante que consta de un orificio 2mm no cónico; el caudal que arroja este diseño es de 1[l/min], a continuación se muestra su comportamiento.

Las conciciones de contorno son:

- Presión de entrada = 137895,15 [Pa] = 20 [Psi]
- Caudal de Salida = $2 \cdot 10^{-5}$ [m^3/s] = 1 [l/min]

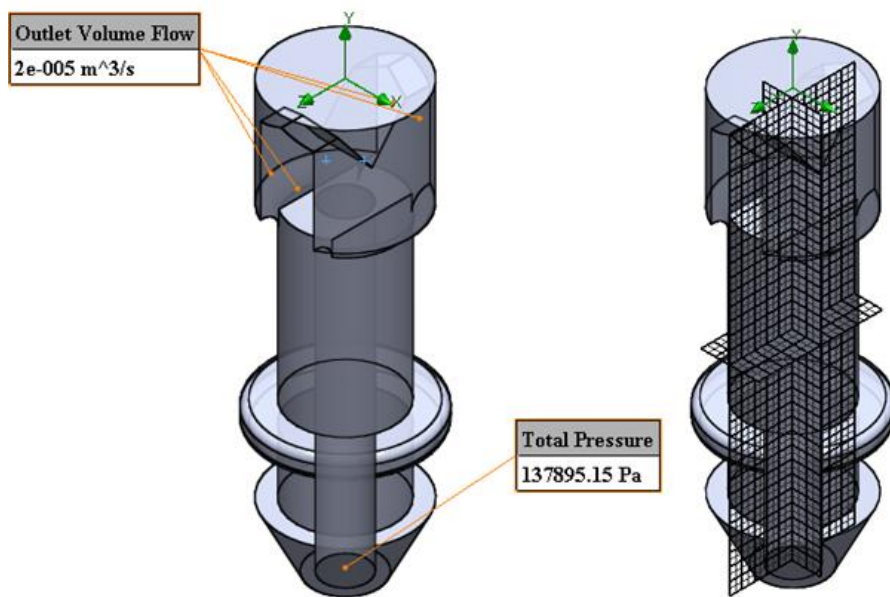


Fig. 3-23 Condiciones de contorno y Mallado (Diseño 1)

Fuente: Autor

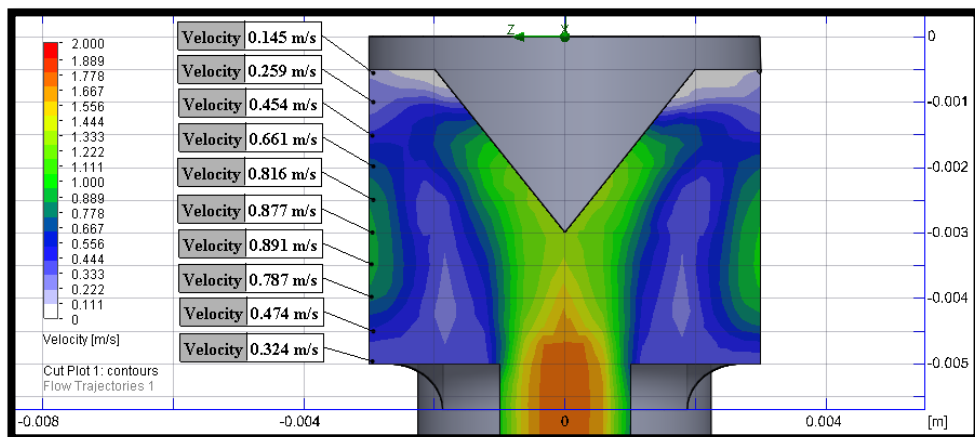


Fig. 3-24 Velocidad a la Salida del Micro Aspersor (Diseño 1)

Fuente: Autor

3.6.4. DISEÑO 2

En el D2 se mantiene el orificio de 2mm no cónico, la variación se realizó en el ángulo de 42,31° donde choca el chorro, este se lo hizo más bajo y redondeado como se muestra en la Fig. 3-26.

Las conciciones de contorno son:

- Presión de entrada = 137895,15 [Pa] = 20 [Psi]
- Caudal de Salida = $2 \cdot 10^{-5}$ [m^3/s] = 1 [l/min]

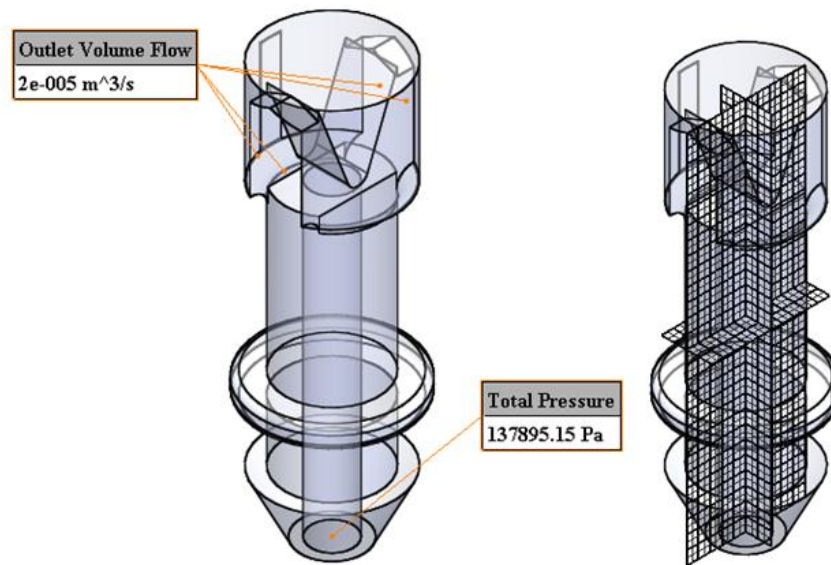


Fig. 3-25 Condiciones de contorno y Mallado (Diseño 2)

Fuente: Autor

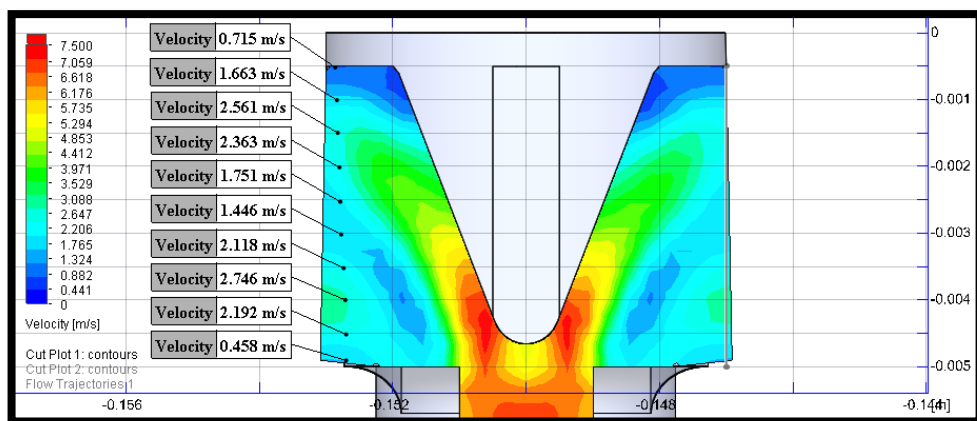


Fig. 3-26 Velocidad a la Salida del Micro Aspersor (Diseño 2)

Fuente: Autor

3.6.5. DISEÑO 3

Para el D3 se realizó una variación más notable haciéndolo más ancho y cónico que va de 3mm a 2mm así:

Las conciciones de contorno son:

- Presión de entrada = 137895,15 [Pa] = 20 [Psi]
- Caudal de Salida = $2 \cdot 10^{-5}$ [m^3/s] = 1 [l/min]

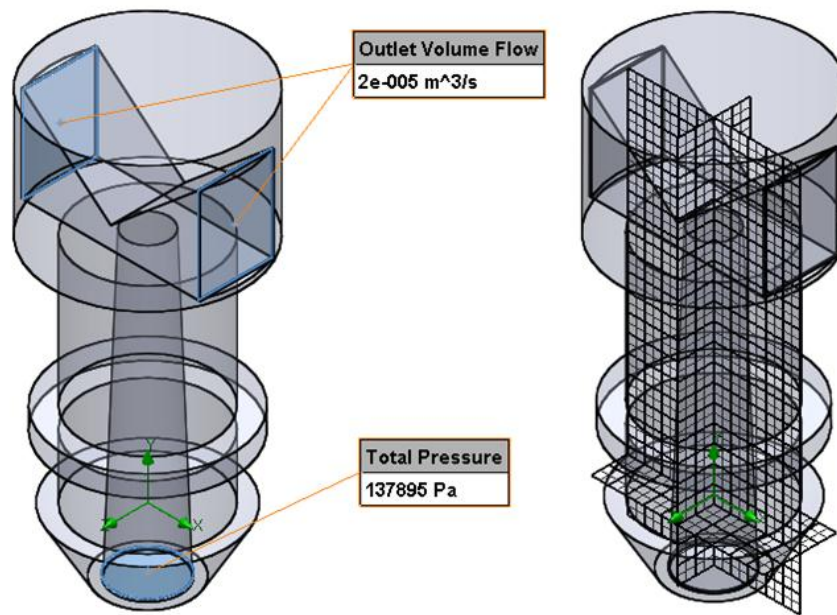


Fig. 3-27 Condiciones de contorno y Mallado (Diseño 3)

Fuente: Autor

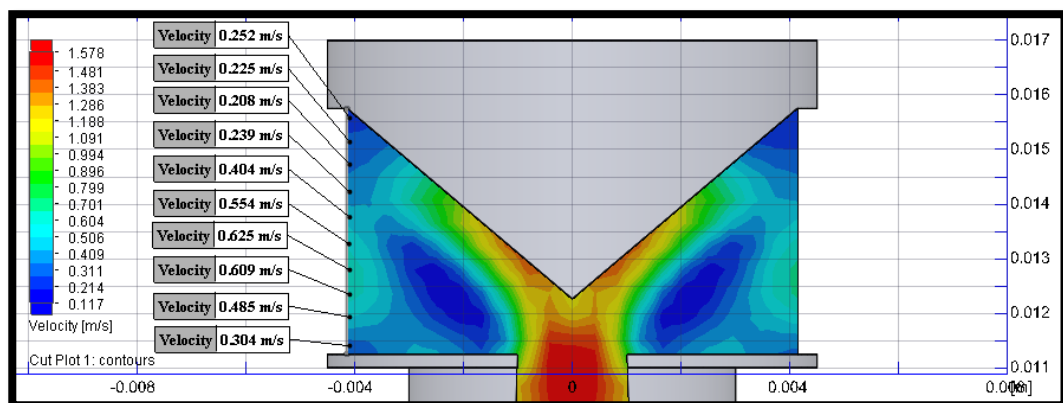


Fig. 3-28 Velocidad a la Salida del Micro Aspersor (Diseño 3)

Fuente: Autor

3.6.6. DISEÑO 4

El D4 es similar al D3 con la variante del orificio ya que este es de 3mm no cónico.

Las conciciones de contorno son:

- Presión de entrada = 137895,15 [Pa] = 20 [Psi]
- Caudal de Salida = $2 \cdot 10^{-5} [m^3/s] = 1,1 [l/min]$

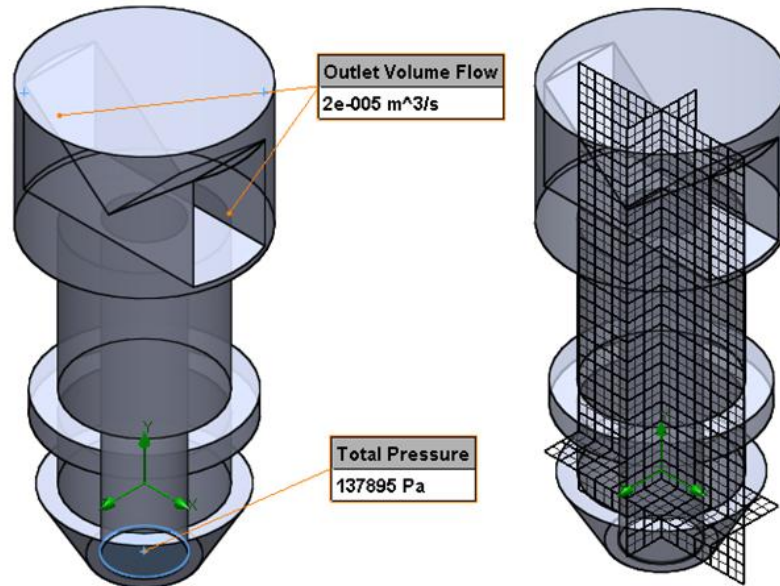


Fig. 3-29 Condiciones de contorno y Mallado (Diseño 4)

Fuente: Autor

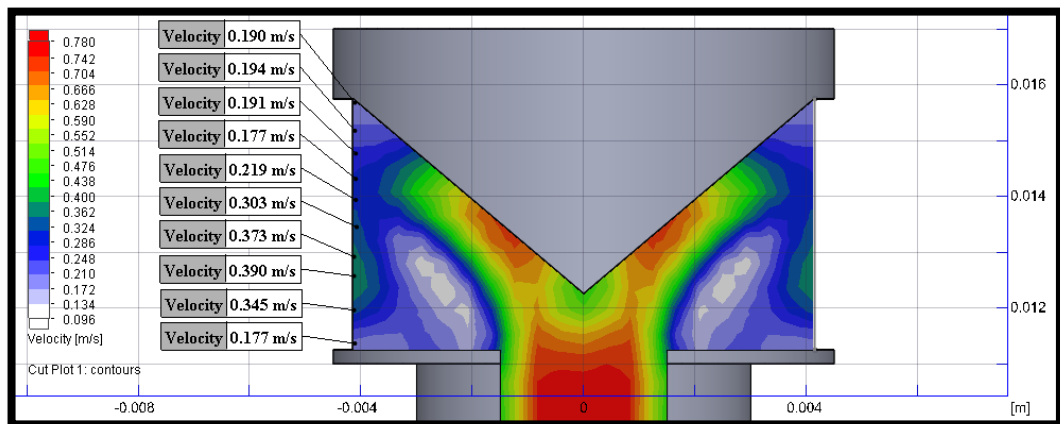


Fig. 3-30 Velocidad a la Salida del Micro Aspersor (Diseño 4)

Fuente: Autor

3.6.7. DISEÑO 5

La única variación que se hizo en el D5 es parecido al D2, en el cual el ángulo es de $99,66^\circ$ redondeado y la distancia a la que se encuentra de la salida del chorro es de 2,38mm.

Las conciciones de contorno son:

- Presión de entrada = 137895,15 [Pa] = 20 [Psi]
- Caudal de Salida = $2 \cdot 10^{-5}$ [m^3/s] = 1,1 [l/min]

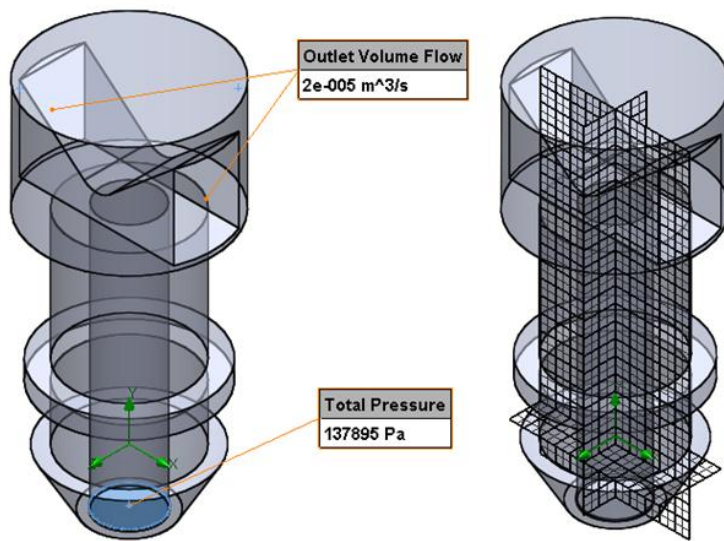


Fig. 3-31 Condiciones de contorno y Mallado (Diseño 5)

Fuente: Autor

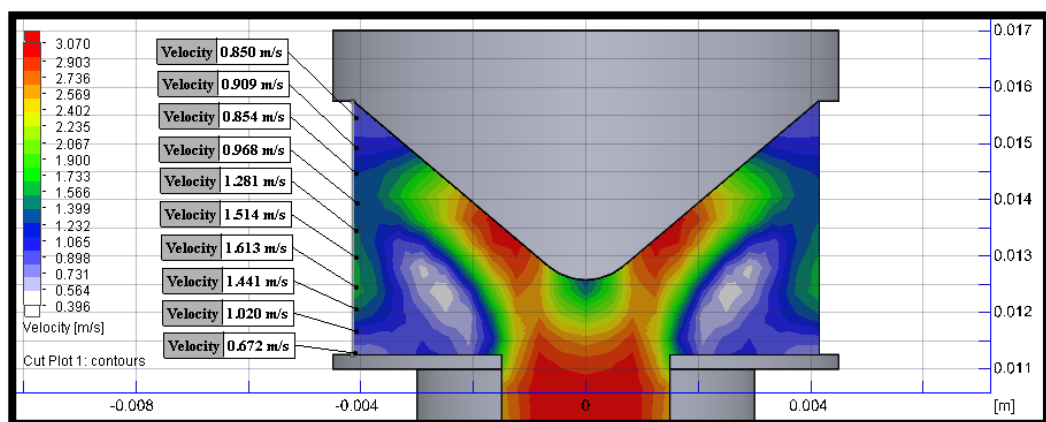


Fig. 3-32 Velocidad a la Salida del Micro Aspersor (Diseño 5)

Fuente: Autor

3.6.8. DISEÑO 6

El D6 varía la distancia que tiene el ángulo de 85,37° redondeado, a la salida del chorro y tiene un valor de 0,97mm.

Las conciciones de contorno son:

- Presión de entrada = 137895,15 [Pa] = **20 [Psi]**
- Caudal de Salida = $2 \cdot 10^{-5} [m^3/s]$ = **1,1 [l/min]**

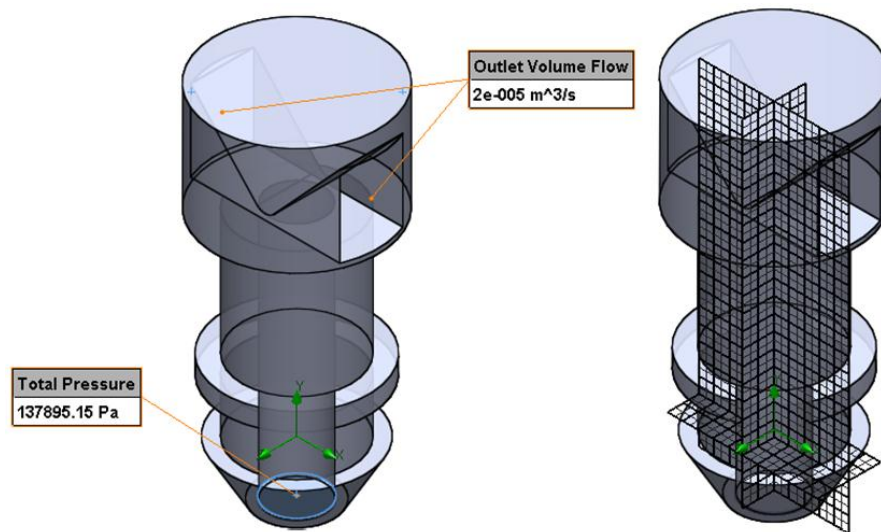


Fig. 3-33 Condiciones de contorno y Mallado (Diseño 6)

Fuente: Autor

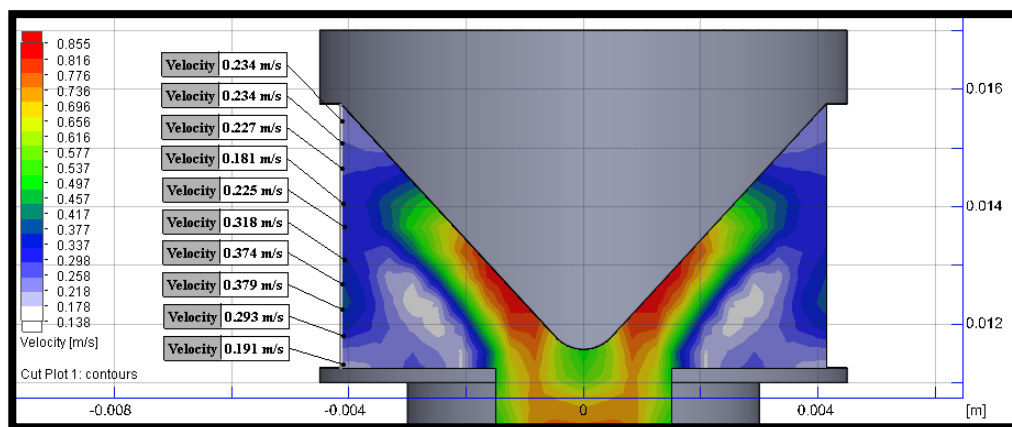


Fig. 3-34 Velocidad a la Salida del Micro Aspersor (Diseño 6)

Fuente: Autor

3.6.9. RESULTADOS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS MICRO ASPERSORES

En la Tabla (3-16) muestra la simulación de los 6 modelos de micro aspersores, se indican velocidades altas, promedios y bajas las cuales están tomadas como se indica en la Fig. 3-36 a continuación.

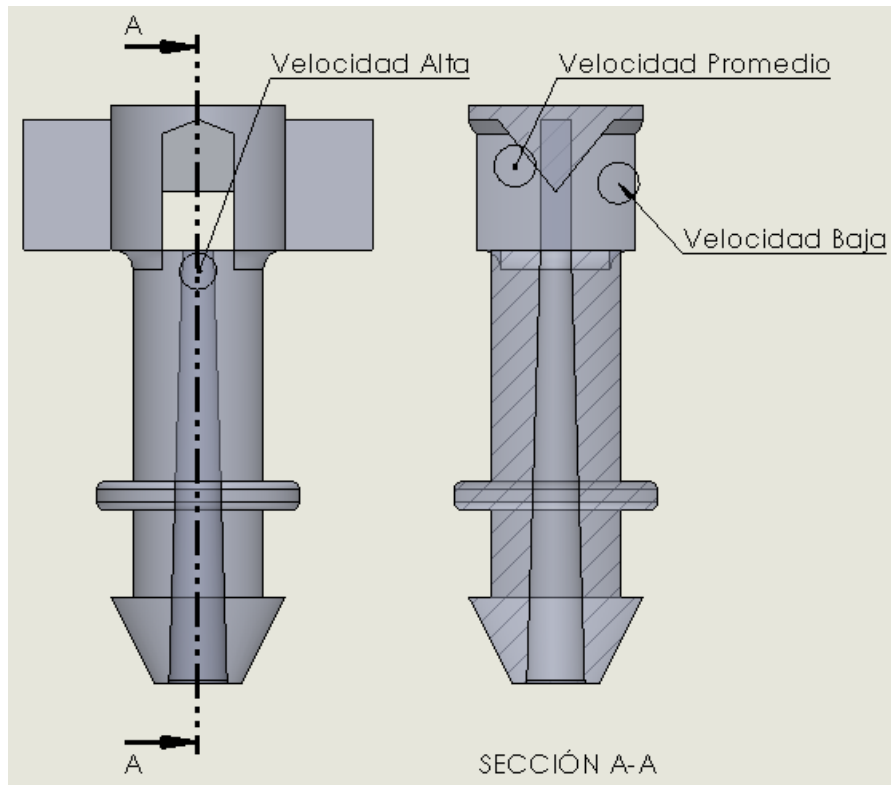

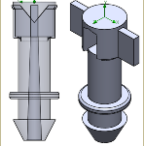
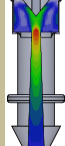

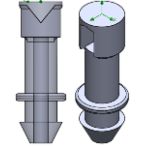
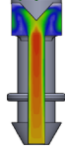

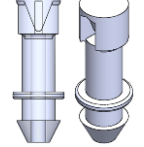
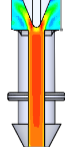

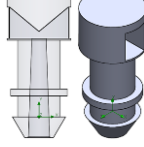
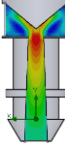

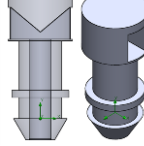
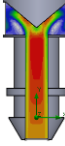

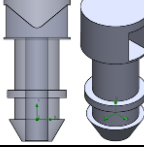
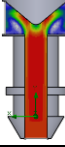

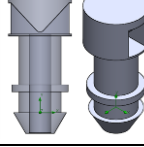
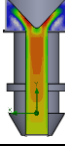


Fig. 3-35 Indicación de Velocidades altas, promedios y bajas.

Fuente: Autor

En primera instancia se tiene el micro aspersor original (sin ninguna variación) en el cual se muestra el comportamiento que tiene usando parámetros de entrada y salida; seguido de los 6 rediseños como se muestra en el siguiente cuadro comparativo.

Tabla 3-16 Cuadro Comparativo de Velocidades de los Micro Aspersores

	FOTO	MODELADO SOFTWARE	SIMULACIÓN VELOCIDAD
DISEÑO ORIGINAL			 <ul style="list-style-type: none"> ● Velocidad Alta 6 [m/s] ● Velocidad Promedio 4 [m/s] ● Velocidad Baja 2 [m/s]
DISEÑO 1			 <ul style="list-style-type: none"> ● Velocidad Alta 1.7 [m/s] ● Velocidad Promedio 1.1 [m/s] ● Velocidad Baja 0.5 [m/s]
DISEÑO 2			 <ul style="list-style-type: none"> ● Velocidad Alta 7 [m/s] ● Velocidad Promedio 5 [m/s] ● Velocidad Baja 3 [m/s]
DISEÑO 3			 <ul style="list-style-type: none"> ● Velocidad Alta 1.3 [m/s] ● Velocidad Promedio 0.9 [m/s] ● Velocidad Baja 0.5 [m/s]
DISEÑO 4			 <ul style="list-style-type: none"> ● Velocidad Alta 0.7 [m/s] ● Velocidad Promedio 0.5 [m/s] ● Velocidad Baja 0.3 [m/s]
DISEÑO 5			 <ul style="list-style-type: none"> ● Velocidad Alta 3 [m/s] ● Velocidad Promedio 2 [m/s] ● Velocidad Baja 1 [m/s]
DISEÑO 6			 <ul style="list-style-type: none"> ● Velocidad Alta 0.7 [m/s] ● Velocidad Promedio 0.5 [m/s] ● Velocidad Baja 0.3 [m/s]

Fuente: Autor


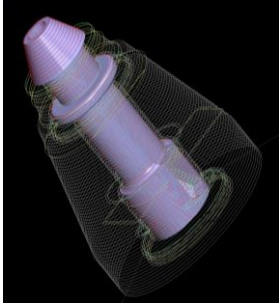

3.7. IMPRESIÓN DE LOS MICRO ASPERSORES

En las siguientes tablas se muestra tanto los parámetros de diseño como los de impresión que se usaron para obtener los micro aspersores en 3D de los 6 diseños.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
 CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
 IMPRESIÓN 3D MICRO ASPERSOR



Tipo de Estudio:	De laboratorio	Impresión No. 1	
Identificación del componente de análisis:			Diseño No. 1
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	09/06/2016
Centro de Estudios y Análisis:	Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero (CFPMC)		
Realizado por:	Eric Poveda	Supervisado por:	Ing. Sebastián Villacrés
PARÁMETROS DEL DISEÑO			
Tipo:	Micro Aspersor		
Especificación:	Orificio Recto	Diámetro:	2 mm
Ángulo de choque:	77,32°	Altura del ángulo a la salida del chorro:	2 mm
Tipo de Ángulo	 (en punta)		
PARÁMETROS DE LA IMPRESIÓN			
Tipo de Impresora:	Impresora 3D	Marca:	stratasys Fortus 900mc
Boquilla usada:	T16	Volumen del Diseño:	3,287 cm ³
Material:	ASA		
Orientación para la impresión:	Vertical		
Tiempo estimado para la impresión:	40 min		
RESULTADOS			
			
Proceso de impresión		Resultado final	
Elaborado por: (Nombre/Firma)	Eric Poveda	Fecha:	09/05/2016
Revisado por: (Nombre/Firma)	Ing. MSc. Diego Núñez Nuñez	Fecha:	15/06/2016



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



IMPRESIÓN 3D MICRO ASPERSOR

Tipo de Estudio:	De laboratorio	Impresión No. 2	
Identificación del componente de análisis:	Diseño No. 2		
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	09/06/2016
Centro de Estudios y Análisis:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocer (CFPMC)		
Realizado por:	Eric Poveda	Supervisado por:	Ing. Sebastián Villacrés
PARÁMETROS DEL DISEÑO			
Tipo:	Micro Aspersor		
Especificación:	Orificio Recto	Diámetro:	2 mm
Ángulo de choque:	42,31°	Altura del ángulo a la salida del chorro:	0,83 mm
Tipo de Ángulo	 (circular)		
PARÁMETROS DE LA IMPRESIÓN			
Tipo de Impresora:	Impresora 3D	Marca:	stratasys Fortus 900mc
Boquilla usada:	T16	Volumen del Diseño:	3,299 cm ³
Material:	ASA		
Orientación para la impresión:	Vertical		
Tiempo estimado para la impresión:	40 min		
RESULTADOS			
			
Proceso de impresión		Resultado final	
Elaborado por: (Nombre/Firma)	Eric Poveda	Fecha:	09/05/2016
Revisado por: (Nombre/Firma)	Ing. MSc. Diego Núñez Nuñez	Fecha:	15/06/2016



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



IMPRESIÓN 3D MICRO ASPERSOR


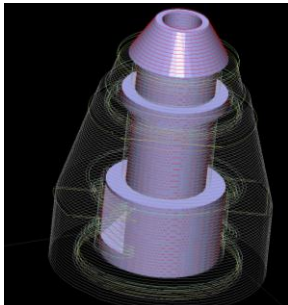

Tipo de Estudio:	De laboratorio	Impresión No. 3	
Identificación del componente de análisis:			Diseño No. 3
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	16/06/2016
Centro de Estudios y Análisis:	Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero (CFPMC)		
Realizado por:	Eric Poveda	Supervisado por:	Ing. Sebastián Villacrés
PARÁMETROS DEL DISEÑO			
Tipo:	Micro Aspersor		
Especificación:	Cónico	Diámetros:	De 3mm a 2mm
Ángulo de choque:	99,66°	Altura del ángulo a la salida del chorro:	1 mm
Tipo de Ángulo	 (en punta)		
PARÁMETROS DE LA IMPRESIÓN			
Tipo de Impresora:	Impresora 3D	Marca:	stratasys Fortus 900mc
Boquilla usada:	T16	Volumen del Diseño:	3,631 cm ³
Material:	ASA		
Orientación para la impresión:	Vertical		
Tiempo estimado para la impresión:	40 min		
RESULTADOS			
			
Proceso de impresión		Resultado final	
Elaborado por: (Nombre/Firma)	Eric Poveda	Fecha:	16/05/2016
Revisado por: (Nombre/Firma)	Ing. MSc. Diego Núñez Nuñez	Fecha:	22/06/2016



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



IMPRESIÓN 3D MICRO ASPERSOR

Tipo de Estudio:	De laboratorio	Impresión No. 4	
Identificación del componente de análisis:			Diseño No. 4
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	16/06/2016
Centro de Estudios y Análisis:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero (CFPMC)		
Realizado por:	Eric Poveda	Supervisado por:	Ing. Sebastián Villacrés
PARÁMETROS DEL DISEÑO			
Tipo:	Micro Aspersor		
Especificación:	Orificio Recto	Diámetro:	3 mm
Ángulo de choque:	99,66°	Altura del ángulo a la salida del chorro:	1 mm
Tipo de Ángulo	 (en punta)		
PARÁMETROS DE LA IMPRESIÓN			
Tipo de Impresora:	Impresora 3D	Marca:	stratasys Fortus 900mc
Boquilla usada:	T16	Volumen del Diseño:	3,617 cm ³
Material:	ASA		
Orientación para la impresión:	Vertical		
Tiempo estimado para la impresión:	43 min		
RESULTADOS			
			
Proceso de impresión		Resultado final	
Elaborado por: (Nombre/Firma)	Eric Poveda	Fecha:	16/05/2016
Revisado por: (Nombre/Firma)	Ing. MSc. Diego Núñez Nuñez	Fecha:	22/06/2016



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
 CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
 IMPRESIÓN 3D MICRO ASPERSOR



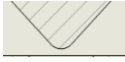
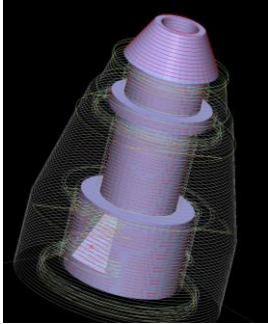
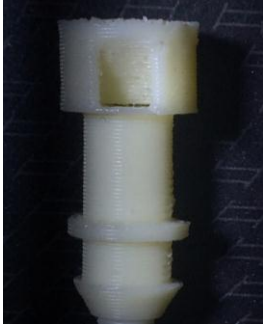
Tipo de Estudio:	De laboratorio	Impresión No. 5	
Identificación del componente de análisis:			Diseño No. 5
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	23/06/2016
Centro de Estudios y Análisis:	Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero (CFPMC)		
Realizado por:	Eric Poveda	Supervisado por:	Ing. Sebastián Villacrés
PARÁMETROS DEL DISEÑO			
Tipo:	Micro Aspersor		
Especificación:	Orificio Recto	Diámetro:	3 mm
Ángulo de choque:	99,66°	Altura del ángulo a la salida del chorro:	2,38 mm
Tipo de Ángulo	 (circular)		
PARÁMETROS DE LA IMPRESIÓN			
Tipo de Impresora:	Impresora 3D	Marca:	stratasys Fortus 900mc
Boquilla usada:	T16	Volumen del Diseño:	3,617 cm ³
Material:	ASA		
Orientación para la impresión:	Vertical		
Tiempo estimado para la impresión:	43 min		
RESULTADOS			
			
Proceso de impresión		Resultado final	
Elaborado por: (Nombre/Firma)	Eric Poveda	Fecha:	23/05/2016
Revisado por: (Nombre/Firma)	Ing. MSc. Diego Núñez Nuñez	Fecha:	29/06/2016



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



IMPRESIÓN 3D MICRO ASPERSOR

Tipo de Estudio:	De laboratorio	Impresión No. 6	
Identificación del componente de análisis:	Diseño No. 6		
Solicitado por:	UTA - FICM	Fecha:	23/06/2016
Centro de Estudios y Análisis:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocer (CFPMC)		
Realizado por:	Eric Poveda	Supervisado por:	Ing. Sebastián Villacrés
PARÁMETROS DEL DISEÑO			
Tipo:	Micro Aspersor		
Especificación:	Orificio Recto	Diámetro:	3 mm
Ángulo de choque:	85,37°	Altura del ángulo a la salida del chorro:	0,97 mm
Tipo de Ángulo	 (circular)		
PARÁMETROS DE LA IMPRESIÓN			
Tipo de Impresora:	Impresora 3D	Marca:	stratasys Fortus 900mc
Boquilla usada:	T16	Volumen del Diseño:	3,630 cm ³
Material:	ASA		
Orientación para la impresión:	Vertical		
Tiempo estimado para la impresión:	43 min		
RESULTADOS			
			
Proceso de impresión		Resultado final	
Elaborado por: (Nombre/Firma)	Eric Poveda	Fecha:	23/05/2016
Revisado por: (Nombre/Firma)	Ing. MSc. Diego Núñez Nuñez	Fecha:	29/06/2016

3.8. PRUEBAS DE EVALUACIÓN

3.8.1. PRUEBAS EXPERIMENTALES

Las pruebas experimentales que se presentan a continuación permitieron determinar el alcance, la nebulización, altura y ángulo de la salida del chorro por cada boquilla de los 6 diseños de micro aspersores.

Los parámetros que se usó para las pruebas son:

- Presión de 20 [Psi]
- Tubería de 16mm

En el siguiente cuadro comparativo se puede apreciar la vista frontal y superior de la nebulización, acompañadas de una foto real de cada micro aspersor.

El uso de un banco de pruebas fue de gran importancia al momento de evaluar los comportamientos de cada uno de los diseños, cabe recalcar que estas pruebas fueron realizadas en un ambiente normal de 25°C en la cual se ve afectada por el viento y esto perjudica a la nebulización y el alcance del chorro; sin embargo se evaluó de la manera más precisa haciendo varias pruebas para disminuir el margen de error.


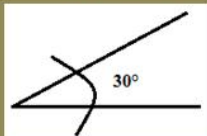
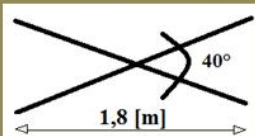


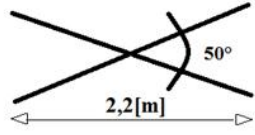


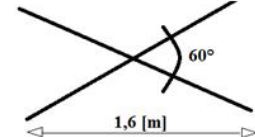

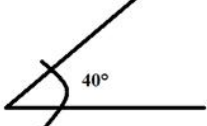
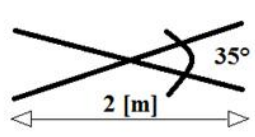

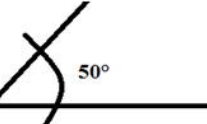
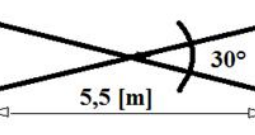


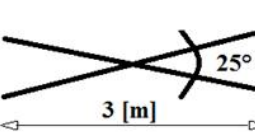

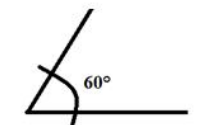
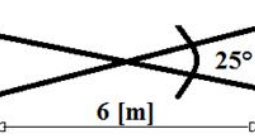
Tabla 3-17 Cuadro Comparativo del Tipo de Aspersión

	FOTO	VISTA FRONTAL	VISTA SUPERIOR
DISEÑO ORIGINAL			
DISEÑO 1			
DISEÑO 2			
DISEÑO 3			
DISEÑO 4			
DISEÑO 5			
DISEÑO 6			

Fuente: Autor

Los ángulos que genera cada micro aspersor tanto en la vista frontal como en la superior están expresados en la siguiente tabla así como también su alcance:

Tabla 3-18 Cuadro Comparativo Ángulos y Alcance de Aspersión

ANGULOS Y ALCANCE DE ASPERSION			
	FOTO	VISTA FRONTAL	VISTA SUPERIOR
DISEÑO ORIGINAL			
DISEÑO 1			
DISEÑO 2			
DISEÑO 3			
DISEÑO 4			
DISEÑO 5			
DISEÑO 6			

Fuente: Autor

Tabla 3-19 Cuadro Comparativo de Velocidades y Alcance de Aspersión

Micro Aspersor	Presión de Trabajo 20 [Psi]			
	Velocidad mín. [m/s]	Velocidad máx. [m/s]	Velocidad Prom. [m/s]	Alcance [m]
Original	2	6	4	1,8
1	0.5	1.7	1.1	2,2
2	3	7	5	1,6
3	0.5	1.3	0.9	2
4	0.3	0.7	0.5	5,5
5	1	3	2	3
6	0.3	0.7	0.5	6

Fuente: Autor

3.9. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para el análisis de resultados se han realizado gráficas comparativas entre la velocidad y longitud localizadas a la salida del chorro en el micro aspersor; dicha longitud esta expresada en metros en el siguiente esquema y abarca toda la longitud por donde sale el fluido.

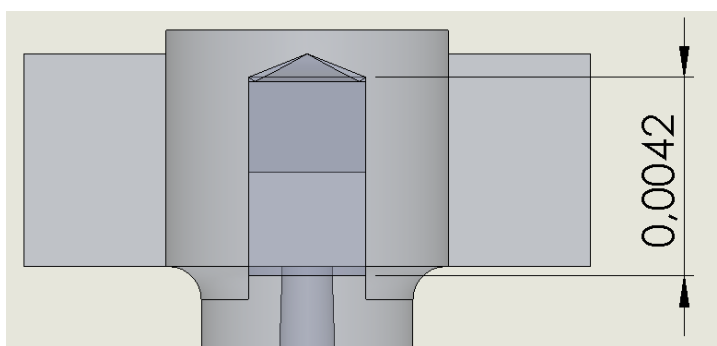


Fig. 3-36 Longitud de Salida del Chorro

Fuente: Autor

Las gráficas comparativas son siete empezando desde el DO (Diseño Original) hasta el D6.

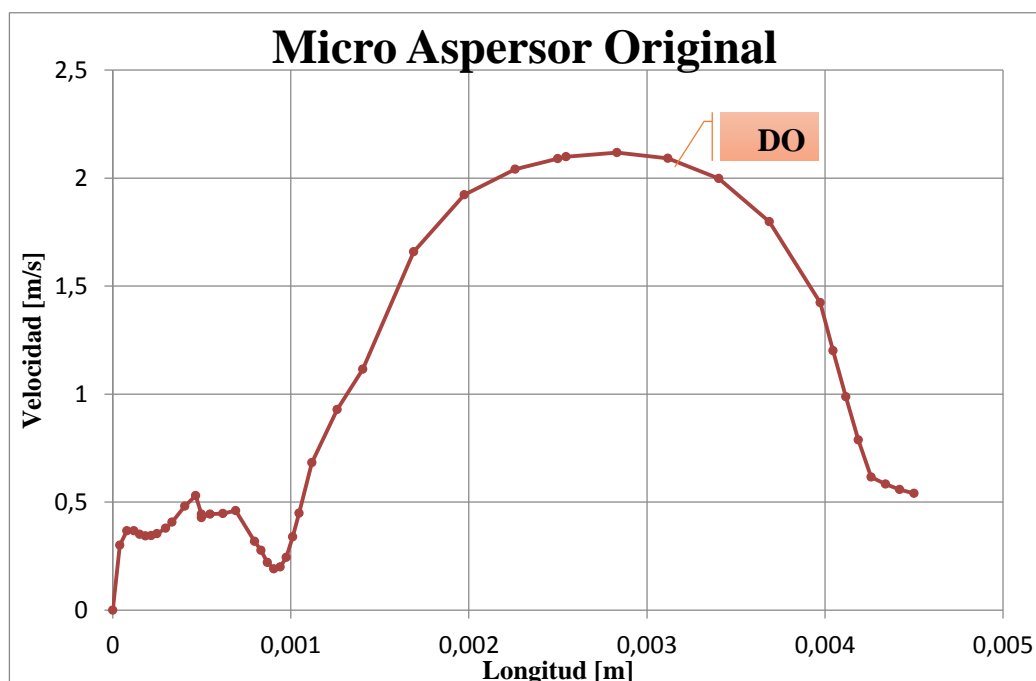


Fig. 3-37 Gráfica Velocidad Micro Aspersor Original

Fuente: Autor

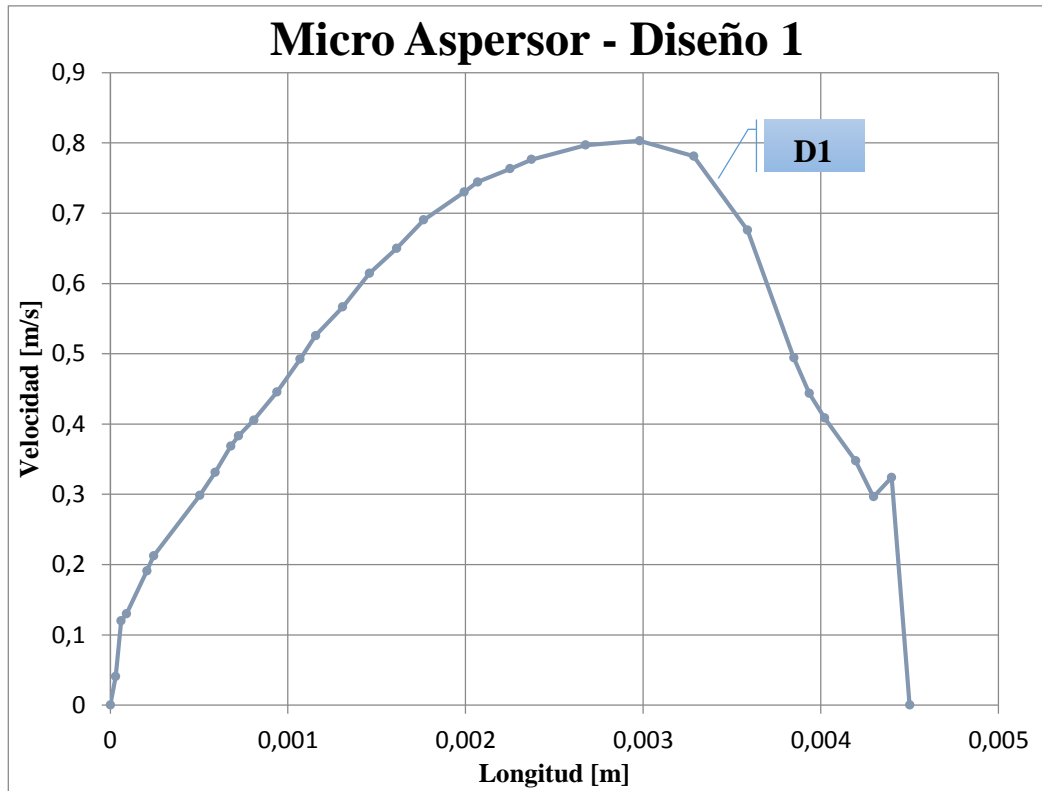


Fig. 3-38 Gráfica Velocidad Micro Aspersor Diseño 1

Fuente: Autor

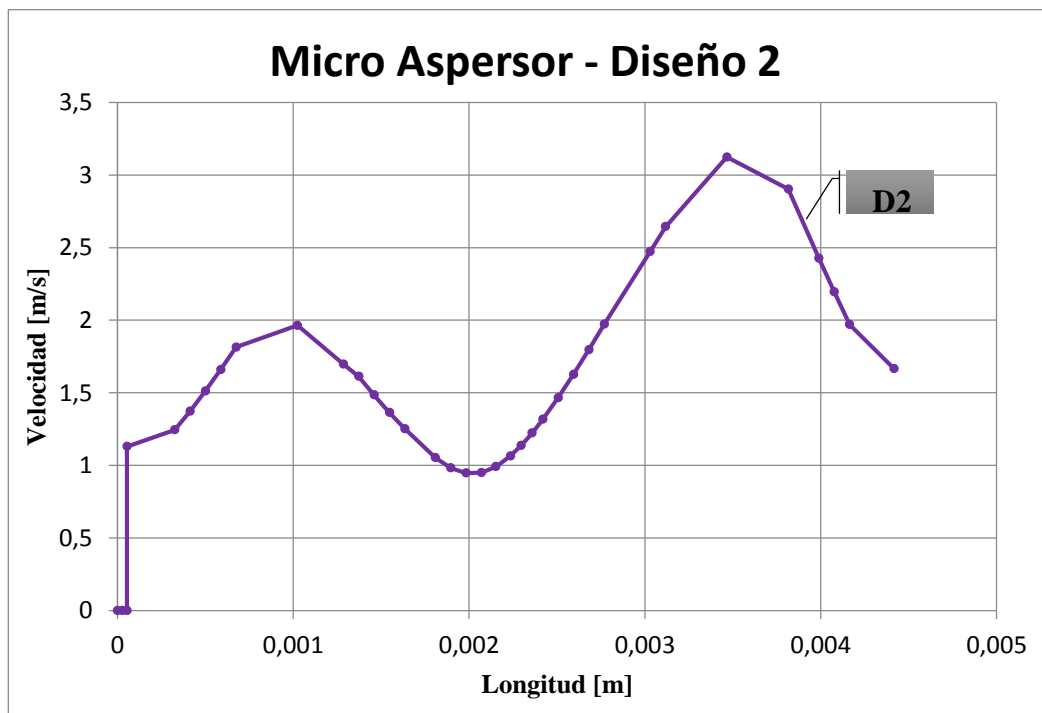


Fig. 3-39 Gráfica Velocidad Micro Aspersor Diseño 2

Fuente: Autor

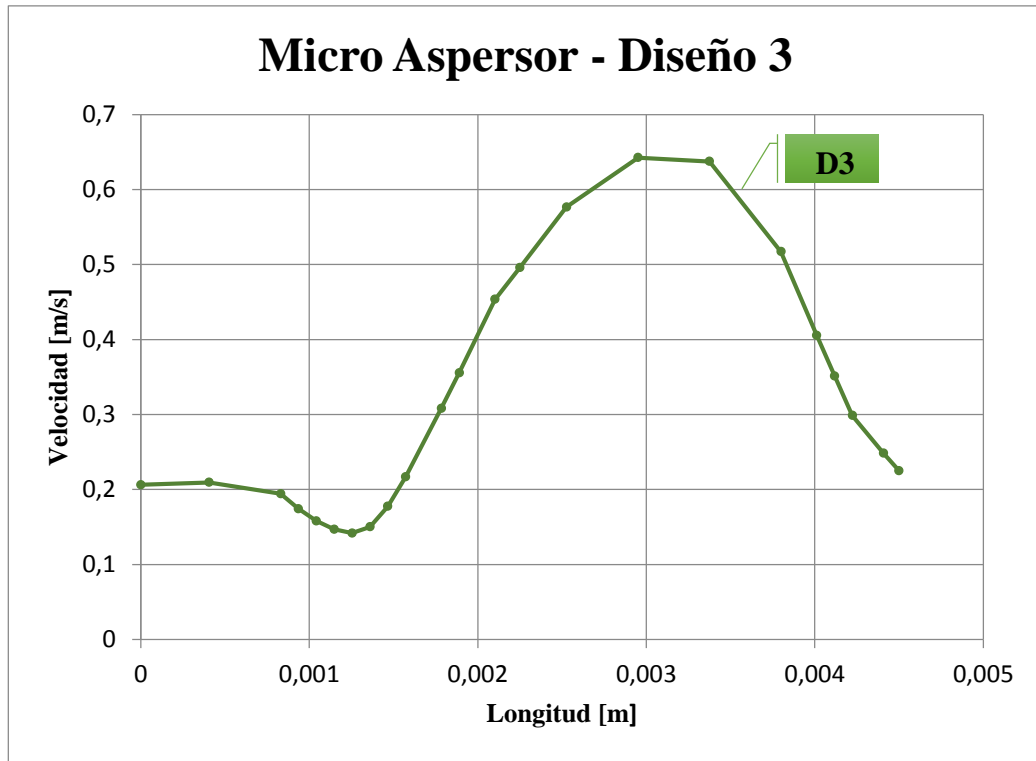


Fig. 3-40 Gráfica Velocidad Micro Aspersor Diseño 3

Fuente: Autor

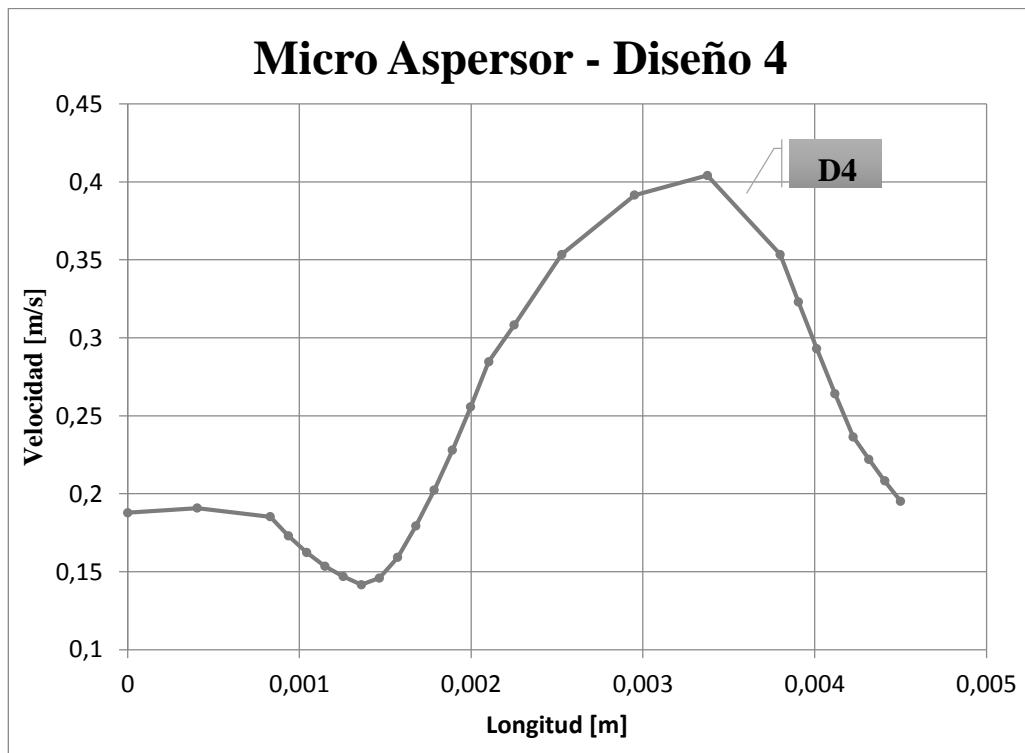


Fig. 3-41 Gráfica Velocidad Micro Aspersor Diseño 4

Fuente: Autor

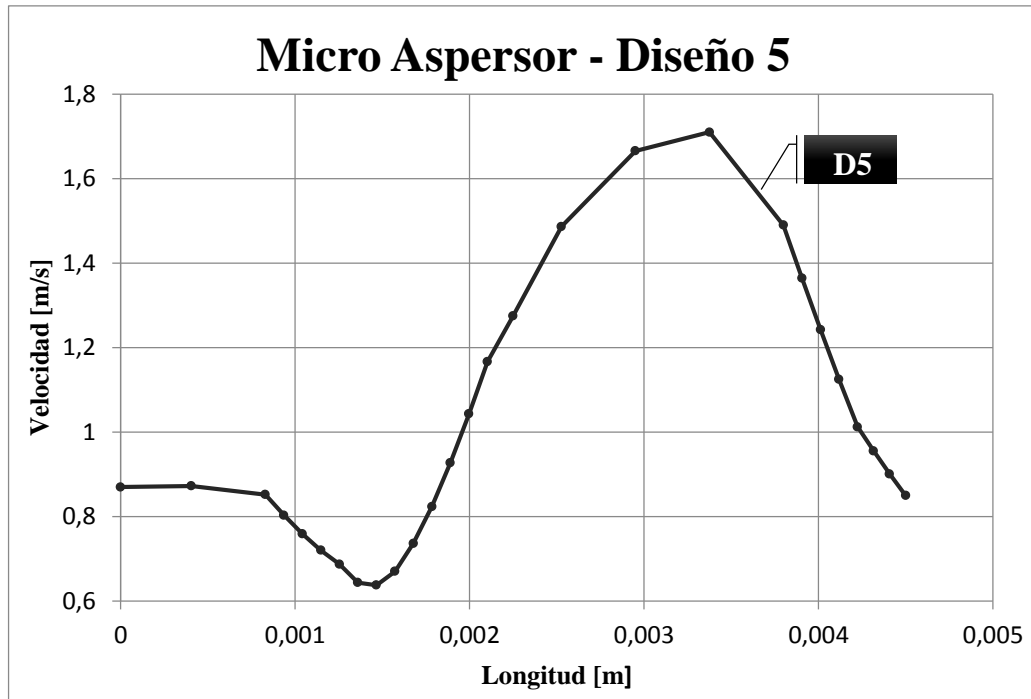


Fig. 3-42 Gráfica Velocidad Micro Aspersor Diseño 5

Fuente: Autor

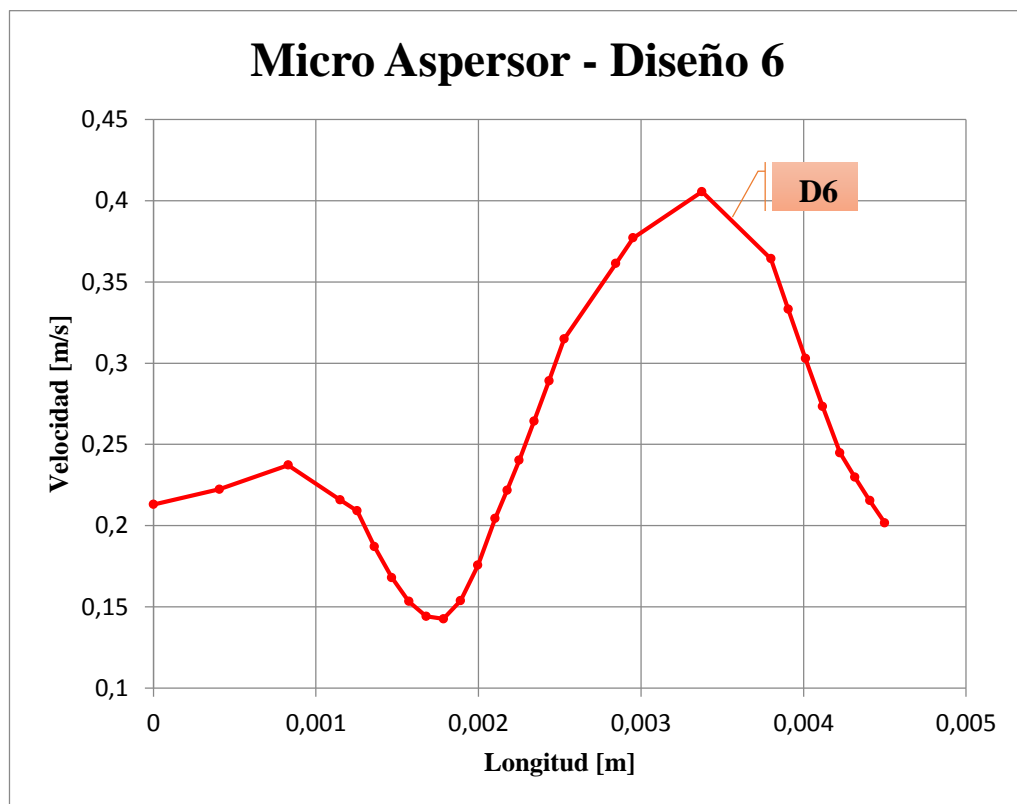


Fig. 3-43 Gráfica Velocidad Micro Aspersor Diseño 6

Fuente: Autor

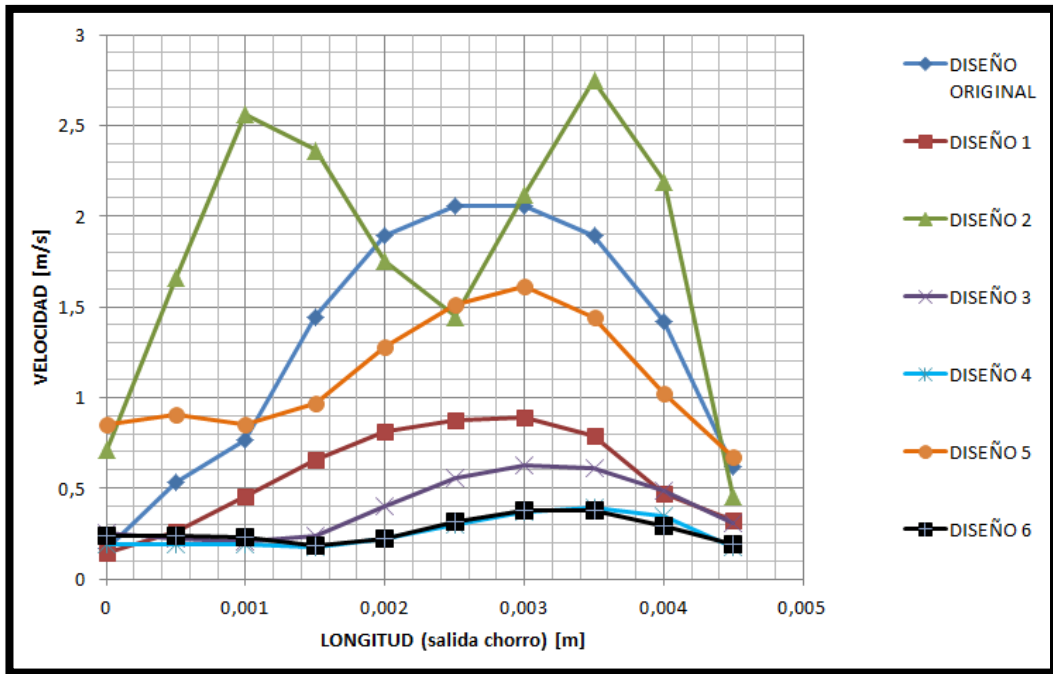


Fig. 3-44 Gráfica de Velocidad vs. Longitud Salida de Chorro

Fuente: Autor

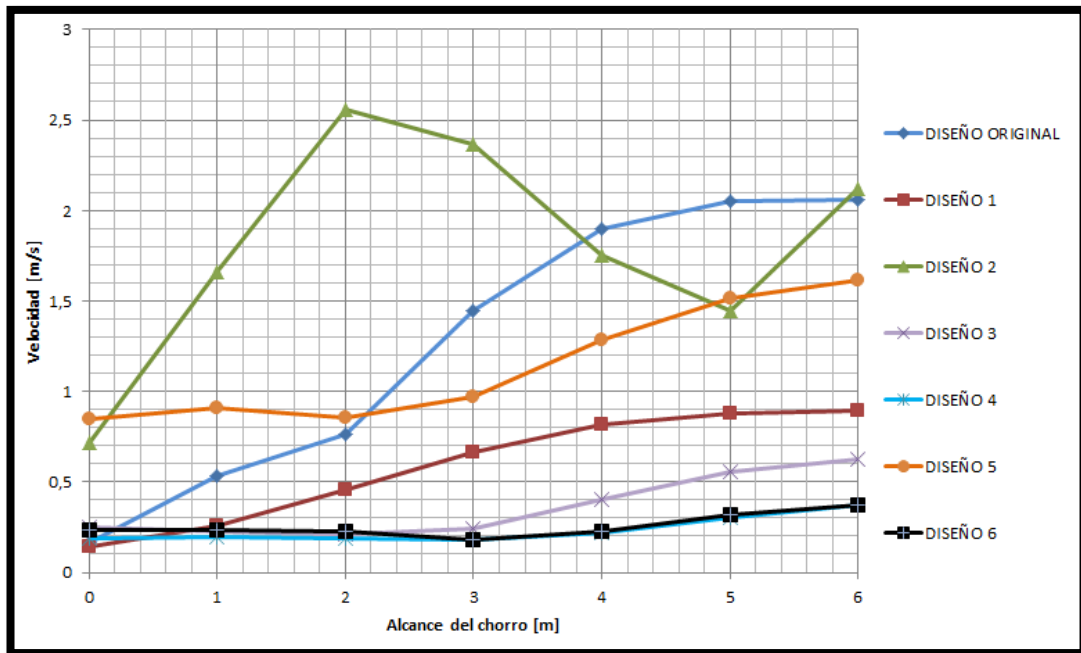


Fig. 3-45 Gráfica de Velocidad vs. Alcance de Chorro

Fuente: Autor

3.9.1. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Cabe destacar parámetros óptimos de riego por aspersion para de esta manera saber hacia dónde se quiere llegar con los resultados obtenidos y así hacer una selección adecuada del micro aspersor.

Para empezar el riego por micro aspersion aparte de ser económico es de muy fácil instalación, por otro lado permite una disipación del agua de manera uniforme sobre la superficie del suelo lo que permite que el cultivo adquiera la cantidad de agua necesaria para su crecimiento.

En este caso se tiene un cultivo de pera de 2 años de injerto los cuales tienen dimensiones aproximadas de 1 x 1 [m] y una profundidad de raíces de 1,5 [m], en su totalidad constan 3 hileras de 7 árboles cada una con las especificaciones anteriormente dadas para lo cual es necesario cubrir mediante la aspersion un área (en lazo) de 50cm x 200cm aproximadamente como se muestra en la siguiente figura:

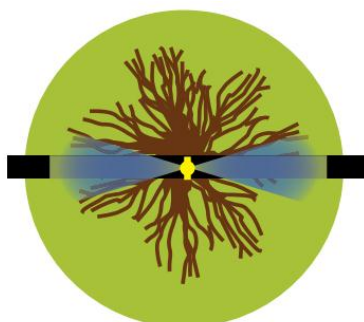


Fig. 3-46 Área de Aspersion en el Cultivo de Pera

Fuente: Catálogo Agrícola, Soluciones para Riego, PLASTIGAMA Mexichen Ecuador S.A., Pág. 8.

En la figura 3.45, se puede visualizar las curvas de velocidad vs. longitud de salida del chorro de los 6 diseños incluyendo el diseño original teniendo así que los diseños 1, 3 y 5 alcanzan su velocidad más alta a los 3 mm de la longitud de salida del chorro; mientras que los diseños 2, 4 y 6 alcanzan una velocidad alta a los 3,5 mm, analizando estos resultados se dice que la velocidad máxima recomendada se debe encontrar entre los 2,5 mm y 3,5 mm de longitud para que su alcance sea alrededor de 2 [m].

Otro punto a tomar en cuenta y el cual es de mucha importancia es el alcance del chorro, esto dependerá de la inclinación de la pared contra la cual choca el chorro cuando sale de la boquilla; conjuntamente con esta variable va acompañada la nebulización que produce cada diseño y el ángulo de salida del chorro tomado desde la vista superior, como se indica en la tabla [3.15].

La calidad de la nebulización para este diseño de micro aspersor depende de dos factores muy importantes y significativos que son la distancia desde que sale el chorro hasta que se impacta con la superficie inclinada y la velocidad de salida del mismo; estos dos parámetros trabajan en conjunto es decir mientras menor sea la distancia de choque del chorro mejor será la nebulización provocada pero de igual manera este parámetro depende de la velocidad a la que sale el chorro. En las pruebas experimentales que se realizaron se determinó la calidad de la nebulización y estos resultados están reflejados en la siguiente gráfica.

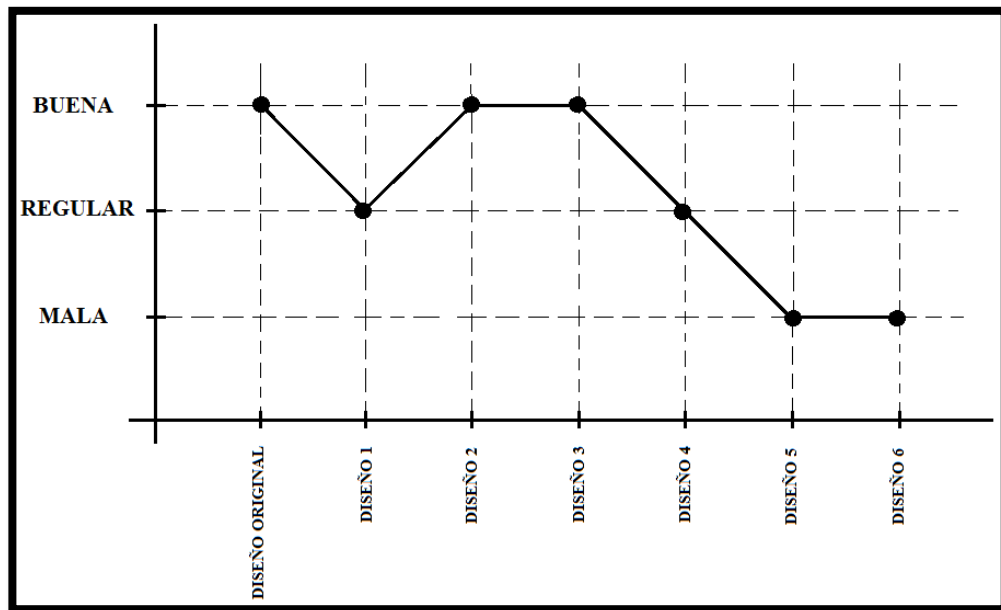


Fig. 3-47 Calidad de Nebulización


Fuente: Autor

- De la figura 3-48, se deduce que el diseño original tiene una buena nebulización pero el diámetro de su orificio es muy pequeño lo que hace que se obstruya fácilmente.

- El D1 tiene una nebulización regular debido a que el diámetro del orificio es recto.
- El D2 tiene una buena nebulización esto se debe a que la distancia desde que sale el chorro hasta que se impacta con la superficie inclinada es pequeña, sin embargo esto no es del todo favorable ya que la aspersion toma gran altura y se ve afectada por el viento.
- El D3 tiene un orificio cónico que va de 3 a 2 mm y una distancia desde que sale el chorro hasta que se impacta con la superficie inclinada de 1 mm lo que hace que la nebulización sea buena.
- El D4 tiene una nebulización regular esto se debe a que tiene un orificio recto de 3mm de diámetro.
- El D5 y D6 no realizan una aspersion adecuada y tampoco cubren un área apropiada del cultivo debido a que su orificio es recto y es de 3mm provocando un chorro y más no una aspersion.

En base a los resultados obtenidos se ha elaborado una tabla que contiene todas las especificaciones y resultados de cada uno de los seis diseños elaborados incluyendo el diseño original.

Tabla 3-20 Comparación de Resultados

TABLA COMPARATIVA DE RESULTADOS									
ESPECIFICACIONES	Diseño	Original	D1	D2	D3	D4	D5	D6	
	Tipo de Orificio	Cónico	Recto	Recto	Cónico	Recto	Recto	Recto	
	Diámetro Orificio [mm]	De 2 a 1	2	2	De 3 a 2	3	3	3	
	Ángulo de Choque	86°	77,32°	42,31°	99,66°	99,66°	99,66°	85,37°	
	Altura del Ángulo a la salida del chorro [mm]	2	2	0,83	1	1	2,38	0,97	
	Velocidad máx de salida del chorro [m/s]	2,059	0,89	2,7	0,625	0,373	1,613	0,379	
RESULTADOS	Tipo de Ángulo de choque	Punta	Circular	Punta	Punta	Punta	Circular	Circular	
	Caudal [L/min]	0,65	0,85	0,75	1	1,4	1,6	1,2	
	Alcance [m]		1,8	2,2	1,6	2	5,5	3	6
	Ángulo de Aspersion	Vista Frontal	30°	15°	50°	40°	50°	45°	60°
		Vista Superior	40°	50°	60°	35°	30°	25°	25°
Calidad de la Aspersion		Buena	Regular	Buena	Buena	Regular	Mala	Mala	

Fuente: Autor

3.9.2. SELECCIÓN DEL MICRO ASPERSOR

Según el análisis de resultados el D3 tiene las características necesarias que se requieren para el riego de los cultivos de pera, principalmente con el objetivo de evitar taponamientos causados por impurezas en el agua ya que el diámetro del orificio del micro aspersor original es cónico de 2 a 1 mm ahora el nuevo rediseño tiene un orificio cónico de 3 a 2 mm evitando que se obstruya por impurezas; esta modificación se hizo sin afectar la calidad de la nebulización y proporcionando un caudal necesario para el cultivo de 1[L/min], a más de esto el alcance de la aspersión es la mejor tomando en cuenta que se tiene una separación entre cultivos de 4[m] y este nuevo diseño cubre un área de 0,05x2 [m] por ello cada aspersor será colocado en la mitad de cada árbol abasteciendo así a las 3 hileras de 7 árboles que consta el terreno; por otro lado abastece adecuadamente con las necesidades hídricas del cultivo de pera siendo estos cubrir la evapotranspiración, área de mojado, dosis e intervalo de riego.

Para ello se llevará a cabo la impresión 3D de 21 micro aspersores en una impresora Stratasys Fortus 900mc.



Fig. 3-48 Micro Aspersor D3 (seleccionado)

Fuente: Autor

3.10. PRESUPUESTO

Tabla 3-21 Presupuesto

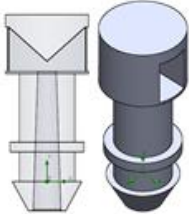
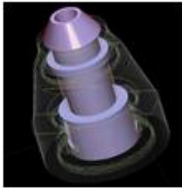


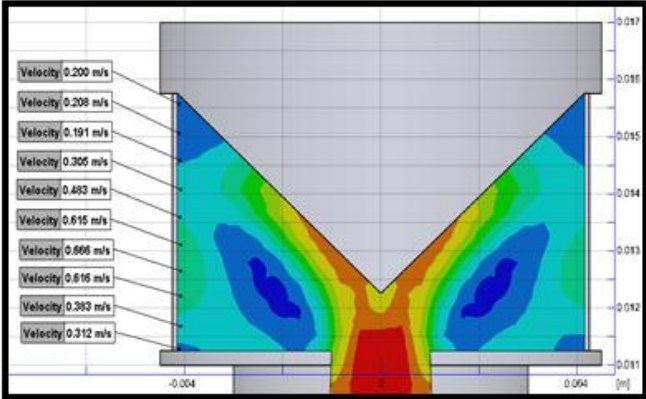


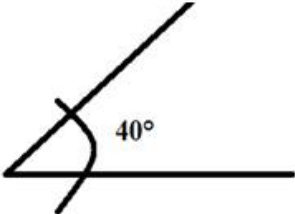
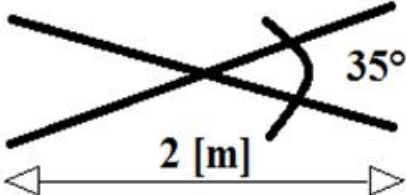
ITEM	DESCRIPCIÓN	COSTO (\$)
1	Información de Libros Electrónicos	130
2	Internet	100
3	Copias	60
4	Transporte	90
5	Impresiones	85
6	Extras	70
7	Tubería para Banco de Pruebas	10
8	Manómetro	20
9	Impresión Micro Aspersores (30)	300
10	Mano de Obra	400
TOTAL		1265

Fuente: Autor

3.11. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

La siguiente tabla muestra el proceso de fabricación del micro aspersor y sus resultados finales de funcionamiento así como todas las pruebas tanto experimentales como las que se realizaron en software; se puede ver en la tabla el tipo de aspersion que va a realizar y el alcance del chorro.

Tabla 3-22 Diseño 3 – Micro Aspersor

MICRO ASPERSOR - DISEÑO 3																					
MODELACIÓN EN SOFTWARE																					
																					
IMPRESIÓN 3D																					
																					
PUEBAS DE SIMULACIÓN																					
	 <table border="1"><tr><td>Velocity</td><td>0.200 m/s</td></tr><tr><td>Velocity</td><td>0.208 m/s</td></tr><tr><td>Velocity</td><td>0.191 m/s</td></tr><tr><td>Velocity</td><td>0.305 m/s</td></tr><tr><td>Velocity</td><td>0.483 m/s</td></tr><tr><td>Velocity</td><td>0.615 m/s</td></tr><tr><td>Velocity</td><td>0.666 m/s</td></tr><tr><td>Velocity</td><td>0.616 m/s</td></tr><tr><td>Velocity</td><td>0.383 m/s</td></tr><tr><td>Velocity</td><td>0.312 m/s</td></tr></table>	Velocity	0.200 m/s	Velocity	0.208 m/s	Velocity	0.191 m/s	Velocity	0.305 m/s	Velocity	0.483 m/s	Velocity	0.615 m/s	Velocity	0.666 m/s	Velocity	0.616 m/s	Velocity	0.383 m/s	Velocity	0.312 m/s
Velocity	0.200 m/s																				
Velocity	0.208 m/s																				
Velocity	0.191 m/s																				
Velocity	0.305 m/s																				
Velocity	0.483 m/s																				
Velocity	0.615 m/s																				
Velocity	0.666 m/s																				
Velocity	0.616 m/s																				
Velocity	0.383 m/s																				
Velocity	0.312 m/s																				
PRUEBAS EXPERIMENTALES																					
																					
																					

Fuente: Autor

3.12. ESPECIFICACIONES DE RIEGO

En la siguiente tabla se muestra las necesidades hídricas del cultivo de pera que se determinó para este proyecto:

Tabla 3-23 Especificaciones Hídricas Cultivo de Pera

Evapotranspiración del Cultivo (Etc)	2,5 [mm/día]
Dosis de Riego (DR)	59 [mm]
Intervalo de Riego (IR)	24 [días]

Fuente: Autor

El D3 por su lado arroja un caudal de 1 [Litro/min], como el cultivo de pera requiere 2.5 [mm/día], es decir 2.5 litros diarios entonces el aspersor deberá ser puesto en funcionamiento 2.5 [min/día] durante 24 días al mes cubriendo un área de 2m para abastecer de 722[mm/anuales] como lo informa infoAgro [29].

Para los agricultores es tedioso encender el sistema de aspersión 3 minutos por día, para mejorar esto tomaremos en cuenta las precipitaciones anuales del sector que se determinaron en la tabla [3.3], destacando el mes de Junio con una precipitación de 2,98 [mm/día] siendo la menor y en Septiembre 3.58 [mm/día] siendo mas alta; por ende los días que llueva se puede suspender el sistema de riego y abastecer con el mismo en el tercer o cuarto día.

Por otro lado es factible también hacerlo de la manera que se indica en el manual FAO (Técnicas de Riego Presurizado), (ver anexo B); en el cual se indica regar 8 [lts/día] en un intervalo de 4 días entonces con el diseño 3 del micro aspersor seleccionado solo se deberá poner en funcionamiento 8 minutos por día cada 4 días que es lo mas factible para los agricultores.

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- El análisis de sólidos totales disueltos dio como resultado un tamaño promedio de la partícula de 1,4 [mm] el cual es de suma importancia para tener una referencia en cuanto al diseño del orificio; también se obtuvo el pH del agua de riego dando 7,7.
- La obtención de la geometría del micro aspersor original permitió determinar principalmente que consta de un orificio cónico de 2 a 1mm el cual es muy pequeño y produce taponamientos, por otro lado también se determinó la velocidad a la salida de la boquilla lo que facilito el análisis del alcance de la aspersión.
- Los parámetros principales de diseño que se determinaron y facilitaron la optimización de los micro aspersores fueron la presión y el caudal a la salida de las boquillas siendo estos 20[Psi] y 1[l/min] respectivamente; estos datos sirvieron de igual manera de condiciones de contorno para la solución en software.
- La modelación usando software CFD permitió determinar el comportamiento del fluido que viaja dentro del orificio, lo cual sirvió para elaborar una tabla comparativa con los alcances de la aspersión en función de la velocidad de salida de cada micro aspersor; siendo la velocidad óptima para el diseño final de 0,625 [m/s] y una distancia de 1 [mm] desde que sale el chorro hasta que se impacta con la superficie inclinada de 99,66° produciendo así una nebulización buena.
- Las pruebas de evaluación realizadas a cada uno de los micro aspersores permitieron demostrar de forma más clara el comportamiento de cada diseño.

- El diseño escogido fue el D3 ya que cuenta con las mejores especificaciones para llevar a cabo un riego óptimo en los cultivos de pera, poniendo en funcionamiento 2,5 minutos al día este micro aspersor este abastecerá con aproximadamente 2,5 [l/min] que necesita la planta, es decir 722 [mm/anuales].
- Cuando se tiene un orificio cónico la velocidad de salida es mayor con respecto a un orificio recto.
- Los micro aspersores D1, D3 y D5 alcanzan su velocidad más alta a los 3 mm de la longitud de salida del chorro; mientras que los diseños D2, D4 y D6 alcanzan una velocidad alta a los 3,5 mm.
- Con una velocidad de salida del chorro de 0,63 y una distancia desde que sale el chorro hasta que se impacta con la superficie inclinada de 1[mm] se obtiene una nebulización de buena calidad y un área aproximada de aspersión de 0,05x2 [m]
- Con una velocidad de salida del chorro de 0,625 [m/s] y un ángulo de apertura de la superficie inclinada de 99,66° se obtiene una nebulización de buena calidad.
- La superficie inclinada del D3 es en punta lo que permite que la aspersión tenga la elevación apropiada para que cubra el cultivo de pera y abarque el área necesaria.

4.2. RECOMENDACIONES

- Para la elaboración de nuevos diseños de micro aspersores tomar en cuenta principalmente las necesidades hídricas del cultivo en cuestión, para de esta manera plantear un rango de funcionamiento el cual abastezca apropiadamente de agua y saber aprovecharla al máximo.
- Revisar las guías de Estudio FAO riego y drenaje para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos, aquí también se encontrarán los pasos a seguir para el diseño agronómico que es muy necesario saber antes de rediseñar un micro aspersor.
- Al momento de diseñar el orificio de un micro aspersor tomar en cuenta que este debe ser de preferencia cónico y con un ángulo de la superficie de choque apropiado para que forme la nebulización adecuada y ésta a su vez abarque por completo el área de mojado.
- Se recomienda que la impresión 3D de los micro aspersores se la haga de forma vertical con el fin de que el orificio salga correctamente ya que esta es la parte primordial de su diseño y también para disminuir los cm^3 de material que se usa con el fin de abaratar costos.
- Es recomendable realizar al menos cinco diseños diferentes de micro aspersores, variando en primera instancia el orificio ya sea este recto o cónico, a su vez variar el ángulo y procurar que este se encuentre en un rango entre 80° y 100° siempre y cuando el micro aspersor tenga dimensiones similares al expuesto en este proyecto.
- Dos puntos muy importantes a tomar en cuenta en cuanto tiene que ver con la calidad y alcance del chorro es la distancia existente desde la salida del chorro por el orificio hasta el momento en que se impacta con la superficie inclinada, se recomienda que debe ser entre 1 y 2 [mm] y el diseño de la superficie inclinada deberá ser circular o en punta esto dependerá de las necesidades de cada cultivo ya que mientras menor sea la distancia de impacto de chorro más altura alcanzará la aspersion; de igual manera sucederá si esta superficie es en punta, y de no ser así sucederá lo contrario.

- Si se da el caso de elaborar un banco de pruebas para evaluar los comportamientos de los micro aspersores hacerlo en un ambiente el cual no se encuentre tan afectado por el viento ya que esto impedirá estimar distancias y calidad del chorro al momento de la aspersión.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] G. Macas, "Ecuador aumenta sus exportaciones de frutas al mundo," [online] ElAgro. Disponible en: <http://www.revistaelagro.com/2014/04/28/ecuador-aumenta-sus-exportaciones-de-frutas-al-mundo/>
- [2] J. Li, H. Kawano, "Sprinkler performance as affected by nozzle inner contraction angle," *Irrigation Science* vol. 18(2), pp. 63-66, Enero 1998.
- [3] J. Montero, et al. "SIRIAS: a simulation model for sprinkler irrigation" *Irrigation Science* vol. 20, pp. 85-98, Mayo 2001.
- [4] R. Armindo, et al. "Flow rate sprinkler development for site-specific irrigation," *Irrigation Science* vol. 29, pp. 233-240, Agosto 2010.
- [5] H. Malano and N. van de Giesen. "Irrigation and Drainage." Internet: http://www.icid.org/press_irri.html, [Enero 12, 2016].
- [6] Hla and T. Scherer. "Introduction to Micro-Irrigation." Internet: <https://www.ag.ndsu.edu/pubs/ageng/irrigate/ae1243.pdf>, Mar. 2003, [Ene. 13, 2016].
- [7] Catálogo Agrícola, Soluciones para Riego, PLASTIGAMA Mexichen Ecuador S.A., pp. 76-78.
- [8] Carbotecnia. "Sólidos disueltos totales (TDS)." Internet: <http://www.carbotecnia.info/encyclopedia/solidos-disueltos-totales-tds/>, Septiembre 16, 2014 [Agosto 10, 2016].
- [9] Driscoll. "pH del Agua." Internet: <http://www.carbotecnia.info/encyclopedia/que-es-el-ph-del-agua/>, Octubre 3, 2014 [Agosto 10, 2016].
- [10] A. Raymond. "Bernoulli's Principle" en *Physics for Scientists and Engineers*, 4thed., vol. 1. Saunders College Publishing, 1996, pp. 422-434.
- [11] R. Mott. *Mecánica de Fluidos*. México: Pearson Educación S.A., 2006, pp. 165-168
- [12] Y. Cengel y J. Cimbala. *Mecánica de Fluidos Fundamentos y Aplicaciones*. México: McGraw-Hill Interamericana, 2006, pp 185.
- [13] C. Hirsch. *Numerical Computation of Internal and External Flows*. Oxford: Elsevier, 2007, pp 1.

- [14] L. Prandtl. "Investigations on turbulent flow". *Zeitschrift fur angewandte Mathematik und Mechanik*, vol. 5, pp. 136, 1925
- [15] Capote et al. "Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería". *Influencia del modelo de turbulencia y del refinamiento de la discretización espacial en la exactitud de las simulaciones computacionales de incendios*, vol. 24, pp. 231, 2008.
- [16] G. Ruiz. "Modelos de Turbulencia en Mecánica de Fluidos Computacional." Congreso Nacional de Hidráulica, Jalisco, México, 2014
- [17] A. Marcos. "La Historia del Futuro Industrial: cómo surgió la impresión 3d" Internet: <https://telecotowalk.wordpress.com/2013/11/01/la-historia-del-futuro-industrial-como-surgio-la-impresion-3d/>, Noviembre 01, 2013 [Marzo 28, 2016].
- [18] Stratasys, *Fortus 900mc* [online]. Edina, Minnesota, Estados Unidos, 1988 Disponible en: <http://www.stratasys.com/es/impresoras-3d/production-series/fortus-900mc>
- [19] Stratasys, ASA [online]. Edina, Minnesota, Estados Unidos, 1988 Disponible en: <http://www.stratasys.com/materials/fdm/asa>
- [20] W. Köppen. *Das Geographische System der Climate*. Gebrüder Borntraeger, Berlin, 1936, pp 1-44.
- [21] INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología), *Servicio Meteorológico* [online]. Ecuador, Disponible en: <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/clima/>
- [22] D. Méndez, *Historia de la máquina de moldeo por inyección de plástico* [online]. México: empresa tkno, 2015 disponible en: <http://www.tkno.mx/informacion-general/historia-de-la-maquina-de-moldeo-por-inyeccion-de-plastico>
- [23] J. Sánchez. "Cálculo de la Evapotranspiración Potencial mediante la fórmula de Hargreaves y Samani", Universidad de Salamanca, Departamento de Geología. Internet: http://hidrologia.usal.es/practicas/ET/ET_Hargreaves.pdf, [May. 24, 2016]

- [24] "Cálculo de Evapotranspiración de Cultivo (ETc) mediante el uso de Coeficientes (Kc)." Internet: [http://www.simarbc.gob.mx/Coeficiente%20del%20cultivo%20\(Kc\).pdf](http://www.simarbc.gob.mx/Coeficiente%20del%20cultivo%20(Kc).pdf), [May. 25, 2016].
- [25] A. Salas. "Determinación de los Parámetros de Riego." Internet: http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%209.%20Riego%20por%20asersion/page_11.htm, Ago. 05, 2008 [May. 26, 2016].
- [26] Reynolds et al. "Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters". *Geoderma*, vol. 110, pp. 131-146, Jul. 2002.
- [27] R. Allen. (2006). *Estudio FAO Riego y Drenaje*. (1era Edición). [On –line]. ISSN (0254-5293). Disponible: <ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/idp56s.pdf> [May. 25, 2016].
- [28] Antúnez et al. "Eficiencia en Sistemas de Riego por Goteo en el Secano", *INIA Tierra*, pp 40-43, Feb. 2010.
- [29] Espinoza. M. "Diseño e Instalación de un Sistema de Riego por Aspersión para 50 Ha. de Cultivo de Palma Aceitera (*Elaeis guineensis*) en la Provincia del Guayas" Tesis de Maestría, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, 1977.
- [30] "El Cultivo de la Pera" Internet: http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tradicionales/peras.htm, [Jun. 25, 2016].
- [31] R. Mott. *Mecánica de Fluidos*. México: Pearson Educación S.A, Sexta Edición, México, 2006.

ANEXOS

Anexo A **(Catálogos)**

Línea de microaspersión

MICRO JET II



- El MICRO JET II ha sido desarrollado para juntar el bajo costo del gotero con la distribución de agua del micro aspersor, resultando en una opción económica para el riego localizado.
- Resultado de esto se tiene la opción más económica para sistemas de riego localizado.
- 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.

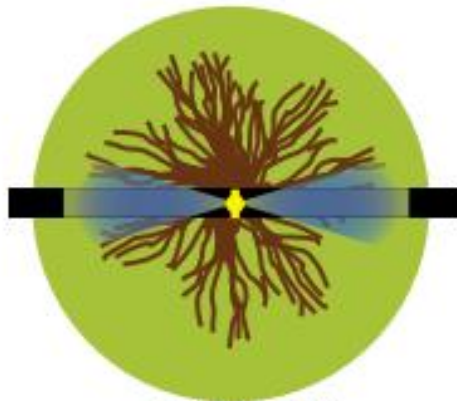


MICRO JET	PRESIÓN DE TRABAJO (PSI)							
	3.5	7	10	15	18	20	25	30
Caudal (LPH)	6.44	8.69	11.05	12.44	14.21	16.07	17.43	18.73
Diámetro	2.65	2.71	3.00	2.95	2.62	1.48	1.50	1.67

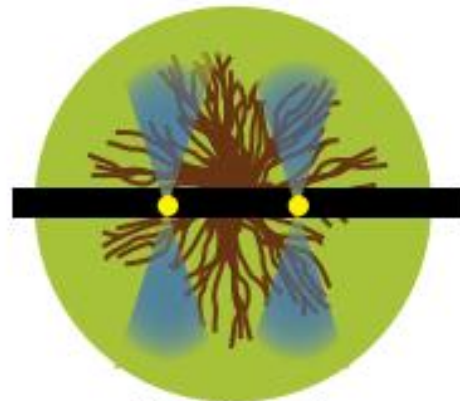
MICRO JET II

DISTRIBUCIÓN EN LA PLANTA

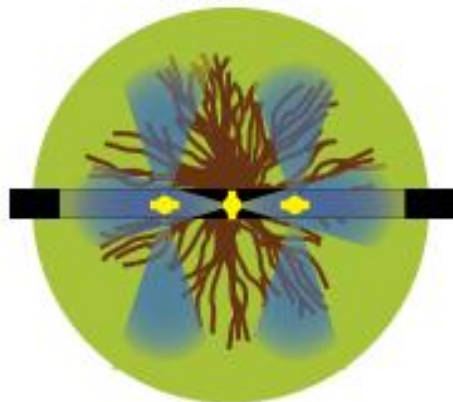
El MICRO JET II ha sido desarrollado para juntar el bajo costo del gotero con la distribución de agua del micro aspersor resultando en una opción económica para el riego localizado con un amplio alcance.



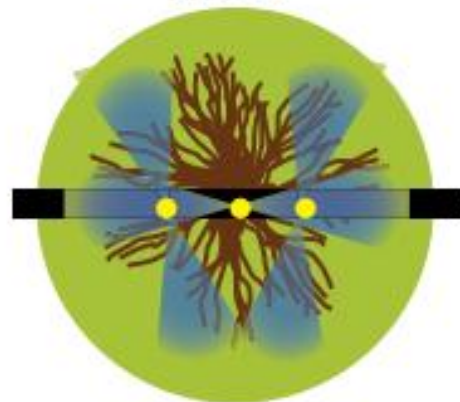
UN MICRO JET II
5 A 18 LPH



UN MICRO JET II
5 A 18 LPH



TRES MICRO JET II
18 A 54 LPH



TRES MICRO JET II
18 A 54 LPH

MICRO JET II

INSTALACIÓN



DAN-JET PC

TIPOS DE CONEXIONES



boquilla 4 mm

boquilla paralela

roscas 3/16"



Micro-Jet autocompensado

APLICACIONES

- Para el riego subarbóreo de huertos

ESTRUCTURA Y CARACTERÍSTICAS

El microrociador no posee piezas móviles, reduciendo así los requerimientos de mantenimiento.

- Con compensación de flujo en un amplio rango de presiones; el caudal permanece sin cambios entre 1.0 y 3.0 bar.
- La compensación de flujo asegura un riego uniforme, tanto ascendente como descendente, a través de laterales largos y tuberías de reducido diámetro. También compensa posibles discrepancias entre las condiciones de diseño y las condiciones prácticas en terreno.
- La membrana reguladora flotante de silicona permite un mayor pasaje de agua inclusive en los caudales más bajos, de modo que el emisor sea menos susceptible a la obturación.
- Sus componentes se fabrican con materiales de elevada calidad, resistentes a los productos químicos comúnmente utilizados en la agricultura.

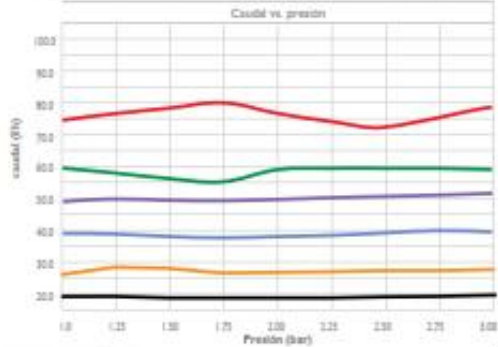
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

- Presión: 1.0 a 3.0 bar
- Caudales: 19 a 76 l/h
- Recomendaciones de filtrado:
Para boquillas negra, naranja y azul: 130 micrones (120 mesh)
Para boquillas violeta, verde y rojo: 200 micrones (80 mesh)



TABLA DE RENDIMIENTO

Boquilla color	Caudal (l/h)	Diámetro de la boquilla (mm)
Negro	19	0.89
Naranja	28	1.17
Azul	36	1.30
Violeta	47	1.55
Verde	57	1.65
Rojo	76	1.93



FORMA Y DIÁMETRO DE COBERTURA (m) PRUBADO A 1.8 BAR Y UNA ALTURA DE 0.25 m

Boquilla color	Recobertura Estática								
	Franja	300'	12 chorros	16 chorros	20 chorros	180'	invertido*	Plano (10 chorros)	Tri Plano (10 chorros)
Negro	2.4	3.0	3.2	3.0	2.4	1.5	2.5	2.4	2.0
Naranja	2.6	3.2	3.6	3.2	2.8	1.7	3.2	2.6	2.2
Azul	3.2	4.0	4.4	4.6	3.5	2.2	3.8	3.0	2.5
Violeta	3.8	4.4	4.8	4.8	4.0	2.4	4.0	3.1	2.6
Verde	4.8	4.8	5.0	5.0	4.5	2.7	4.3	3.4	2.8
Rojo	5.0	3.6	5.4	5.4	5.2	2.8	4.8	3.6	3.0

* Prubado bajo condiciones de laboratorio a 1.8 m de altura

TURBO-JET

TIPOS DE CONEXIONES



Tapigo 4 mm



Tapigo paralelo



roscas rápidas

El Micro-Jet para el riego de huertos, viñedos y jardines



CARACTERÍSTICAS

- Amplio rango de caudales: desde 19 l/h a 100 l/h.
- Los dispersores estáticos permiten que la zona humectada adopte diversas formas y tamaños.
- Para el riego de árboles jóvenes, el diámetro humectado puede minimizarse operando el Turbo-Jet en posición invertida

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

- Presión de operación: 1.0 - 3.5 bar
- Caudales: 16 - 110 l/h
- Recomendaciones de filtrado:
Para boquillas negra, naranja y azul: 130 micrones (120 mesh)
Para boquillas violeta, verde y rojo: 200 micrones (80 mesh)

CAUDAL POR BOQUILLA (l/h)

Presión (bar)	Boquilla de color / ø de orificio (mm)					
	Negro 0.80	Naranja 1.00	Azul 1.15	Violeta 1.30	Verde 1.40	Rojo 1.65
1.0	16	23	31	40	48	62
1.4	19	28	37	47	57	75
2.0	23	33	43	56	69	90
2.5	25	36	47	61	75	98
3.0	27	38	50	66	81	105
3.5	29	41	53	70	85	111

FORMA Y DIAMETRO DE COBERTURA (m)

PROBADO A 2.0 BAR Y UNA ALTURA DE 0.33 m

Boquilla color	Rociadores estáticos																	
	Franja		300°		12 chorros		16 chorros		20 chorros		180°		Invertido ^a		Plano (no chorros)		Tira Plana (no chorros)	
	1.4 bar	2.0 bar	1.4 bar	2.0 bar	1.4 bar	2.0 bar	1.4 bar	2.0 bar	1.4 bar	2.0 bar	1.4 bar	2.0 bar	1.4 bar	2.0 bar	1.4 bar	2.0 bar	1.4 bar	2.0 bar
Negro	2.7	3.0	3.2	3.5	3.4	4.1	3.1	4.2	3.4	3.2	1.3	2.2	2.8	3.0	2.2	2.2	2.3	2.4
Naranja	3.0	3.7	4.0	4.4	4.3	4.7	4.0	3.6	3.6	4.0	1.8	3.3	3.2	3.8	2.3	2.4	2.4	2.3
Azul	3.7	4.2	4.8	5.6	4.6	4.9	4.2	6.0	3.8	4.4	2.2	2.4	3.8	4.8	2.4	2.6		
Violeta	4.2	5.4	5.0	5.8	4.8	5.2	4.3	6.0	4.0	5.0	2.2	2.5	4.6	5.2	2.6	2.0		
Verde	4.2	5.4	5.4	6.0	5.2	5.9	4.3	6.2	4.2	5.4	2.3	2.7	4.9	5.4	2.8	3.2		
Rojo	4.8	6.1	6.6	7.6	5.5	6.6	5.4	7.2	5.0	6.2	2.4	2.8	5.2	5.8	3.0	3.4		

^a Probado bajo condiciones de laboratorio a 1.8 m de altura

Anexo B

(Manual FAO)

TABLE 23 - Maximum number of minisprinklers on the lateral and length of lateral on level ground. Minisprinkler flow rate at 2.0 bars

Lateral size and spacing (metres)	70 litres/h		120 litres/h		150 litres/h	
	Max. no. of mini-sprinklers	Lateral length (metres)	Max. no. of mini-sprinklers	Lateral length (metres)	Max. no. of mini-sprinklers	Lateral length (metres)
16 mm 3	10	30	7	21	6	18
4	9	36	6	24	6	24
5	8	40	6	30	5	25
6	8	42	5	30	5	30
8	7	56	5	40	4	32
20 mm 3	16	48	11	33	9	27
4	15	60	10	40	9	36
5	14	70	9	45	8	40
6	13	78	9	54	8	48
8	11	88	8	64	7	56
25 mm 3	25	75	18	54	15	45
4	22	88	16	64	14	56
5	20	100	15	75	13	65
6	19	114	14	84	12	72
7	18	144	12	96	11	88

Note: All pipes are LDPE, 4.0 bars, to DIN 8072.

Minisprinklers with trees



IRRIGATION SCHEDULING

As in all localized micro-irrigation methods, the amount of water stored in the root zone is restricted as a result of the limited wetted soil volume. However, with this method the wetted volume of soil exceeds 65 percent of the total volume, there thus being no urgent need for very frequent irrigations unless the soil water holding capacity is very low.

The common practice is to irrigate at a fixed interval on a weekly basis and to apply the accumulated water requirements in the preceding days. With young trees, the irrigation interval is shorter, twice a week. Farmers in most arid and semi-arid zones apply water to their tree crops (citrus, guavas, avocado, etc.) as per Table 22.

TABLE 22 - Minisprinkler irrigation scheduling

Age of trees years	Litres per tree per day	Irrigation interval (days)	Average irrigation dosage per tree (litres)	Average operation time (hours)
1-2	8-15	4-6	60	0.5
3-4	20-40	6-7	200	1.6
4-6	50-60	7	380	3.0
7 plus	80-120	7-10	900	7.5

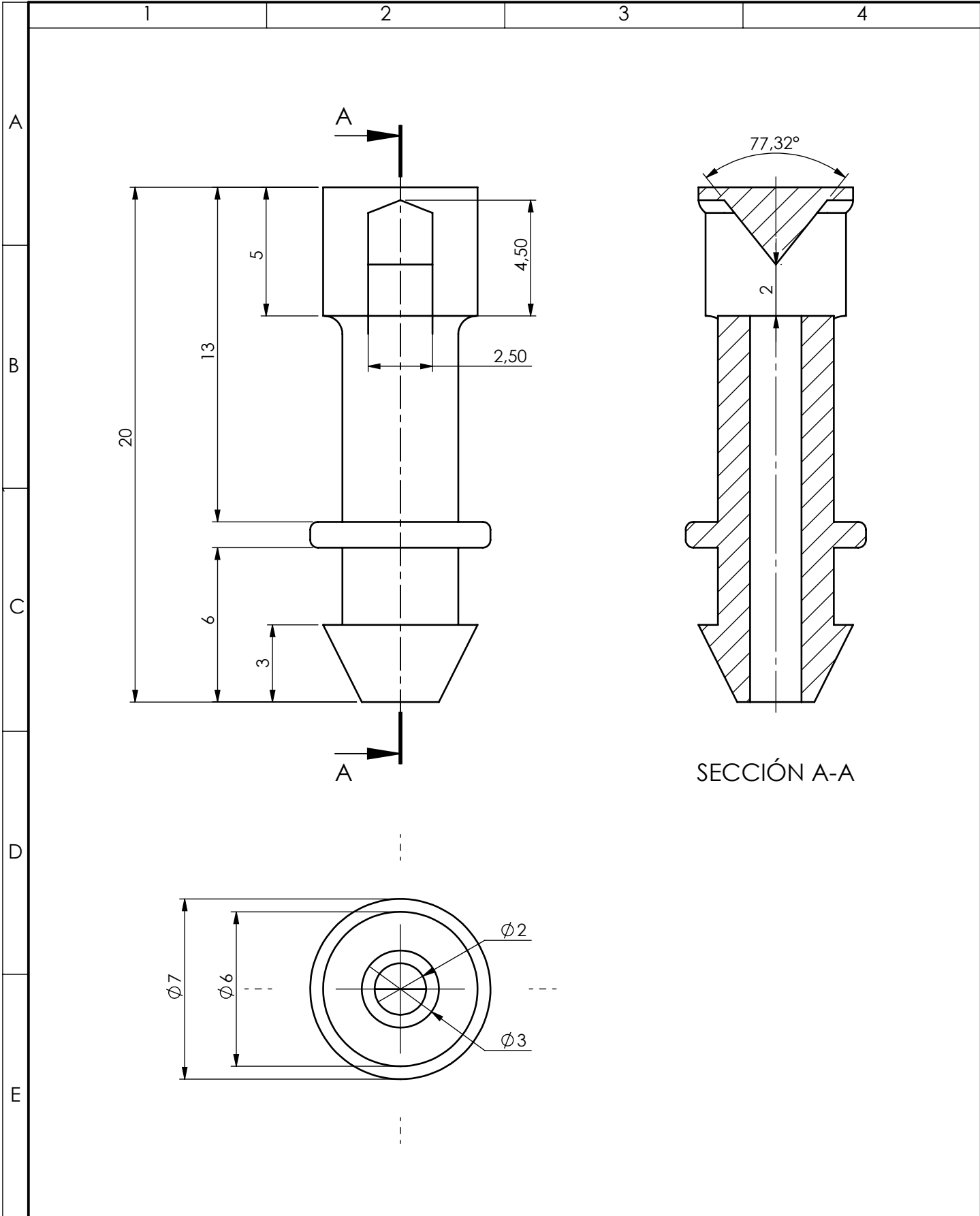
DESIGN CRITERIA AND CONSIDERATIONS

Minisprinklers are mainly used with intensively irrigated fruit trees. They can also be used with rainfed trees for supplementary irrigation. One emitter per tree is sufficient; therefore, the emitter spacings are identical to the tree spacings. The distance between the minisprinklers and the tree trunks is 30-50 cm depending on the age and size of the tree. For young trees, the minisprinkler heads can be mounted upside down to reduce the wetting diameter.

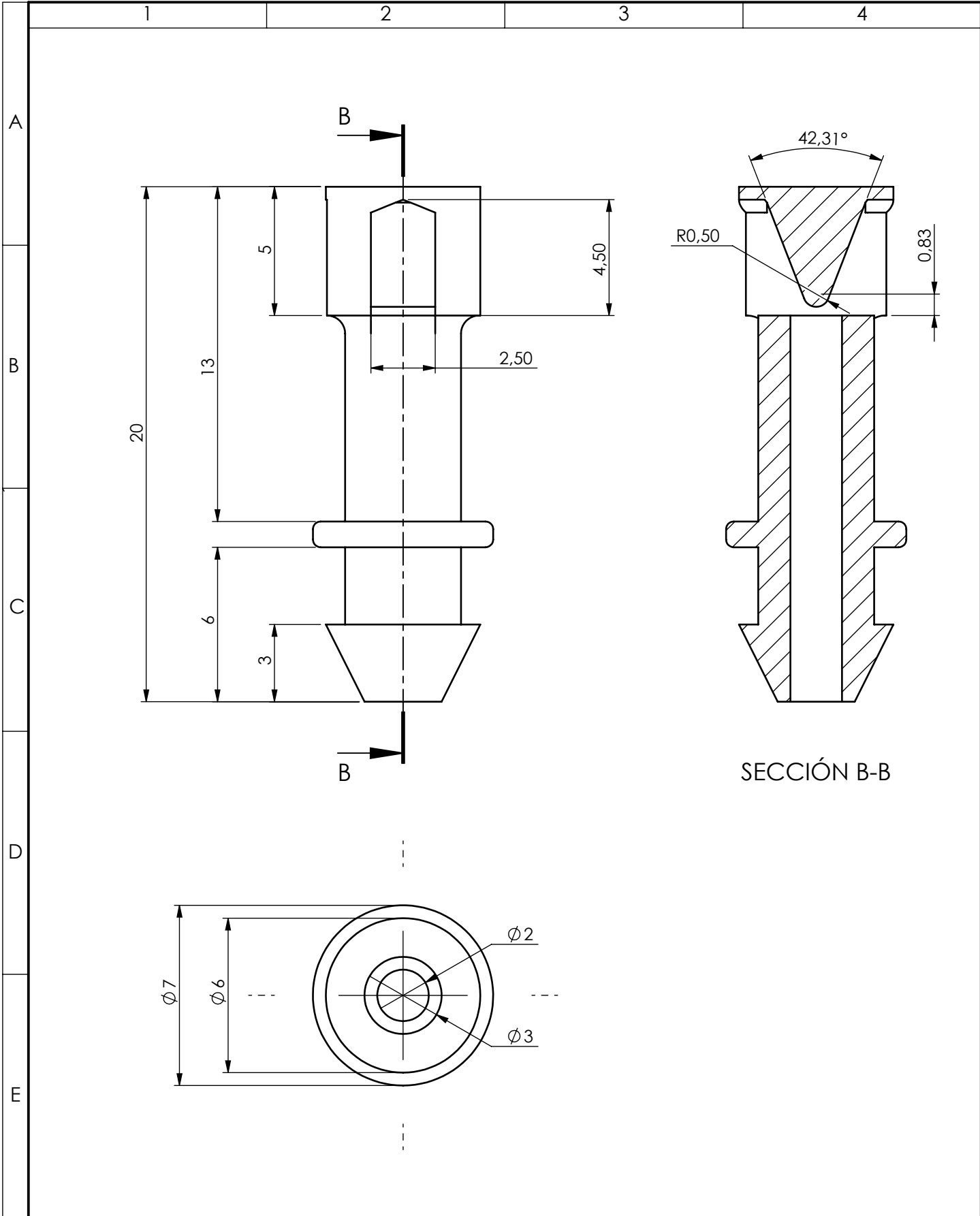
The emitter flow rate should be one which matches the existing conditions of water availability; the area; the number, age and size of the trees; and the number of irrigation shifts (irrigation programme). This is not a difficult task, considering the large range of minisprinkler flow rates available.

The minisprinkler emitters are short-path nozzle-orifice emitters with fully turbulent flow. Therefore, the variation in minisprinkler discharge is half the variation in the operating pressure; e.g. a 20-percent difference in pressure results in a 10-percent difference in discharge, which is considered the maximum permissible. Table 23 is based on this principle.

Anexo C
(Planos Micro
Aspersores)

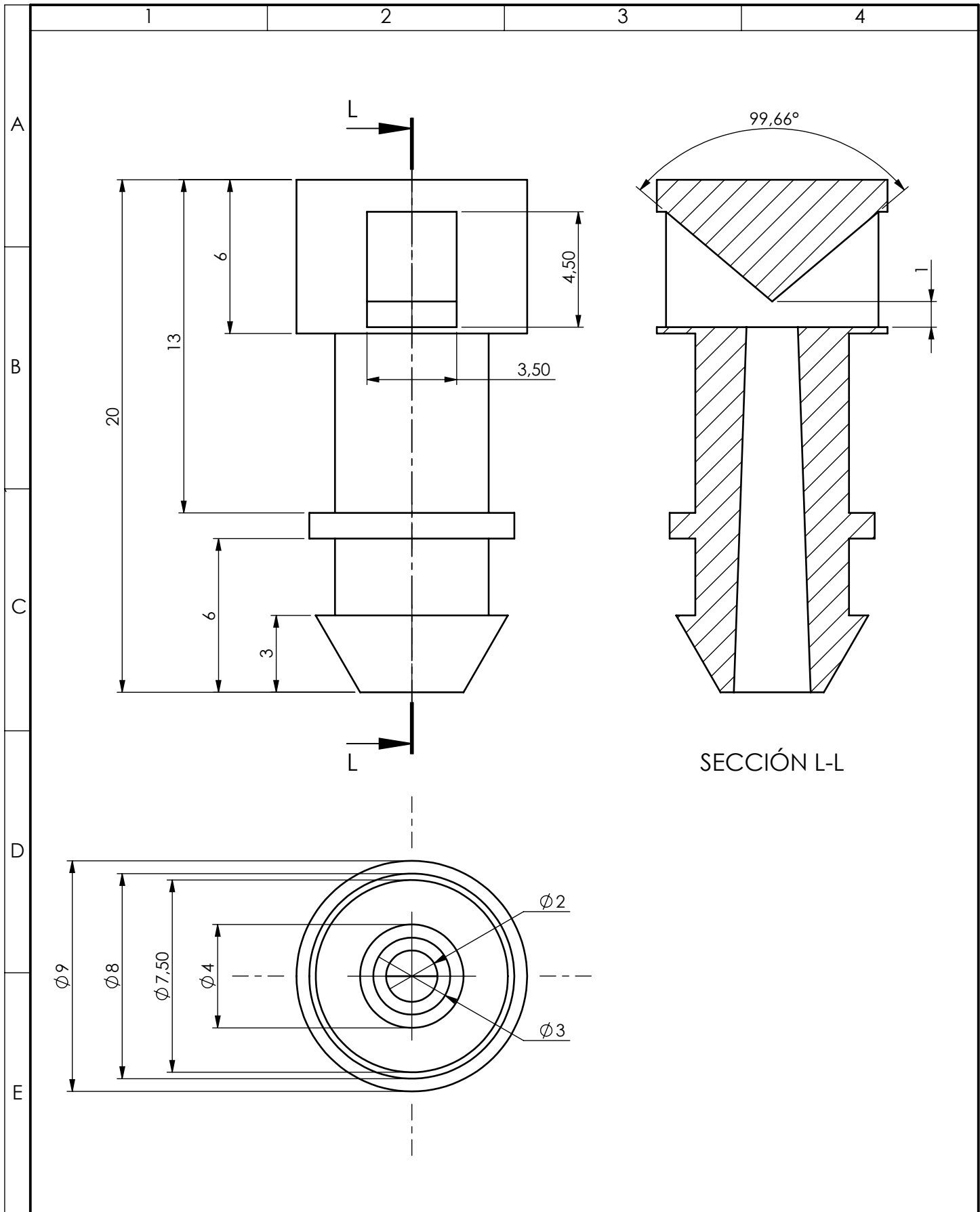


				Tolerancia: ±1	Peso: 1.5 gr.	Material: ASA	
				Fecha: 07/07/2016	Nombre: ERIC POVEDA	Denominación: D1	Escala: 5:1
				Revisó: 13/03/2017	Ing. Diego Nuñez		
				Aprobó: 13/03/2017	Ing. Diego Nuñez		
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		N.º de Lámina: 2 DE 7	Registro:
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

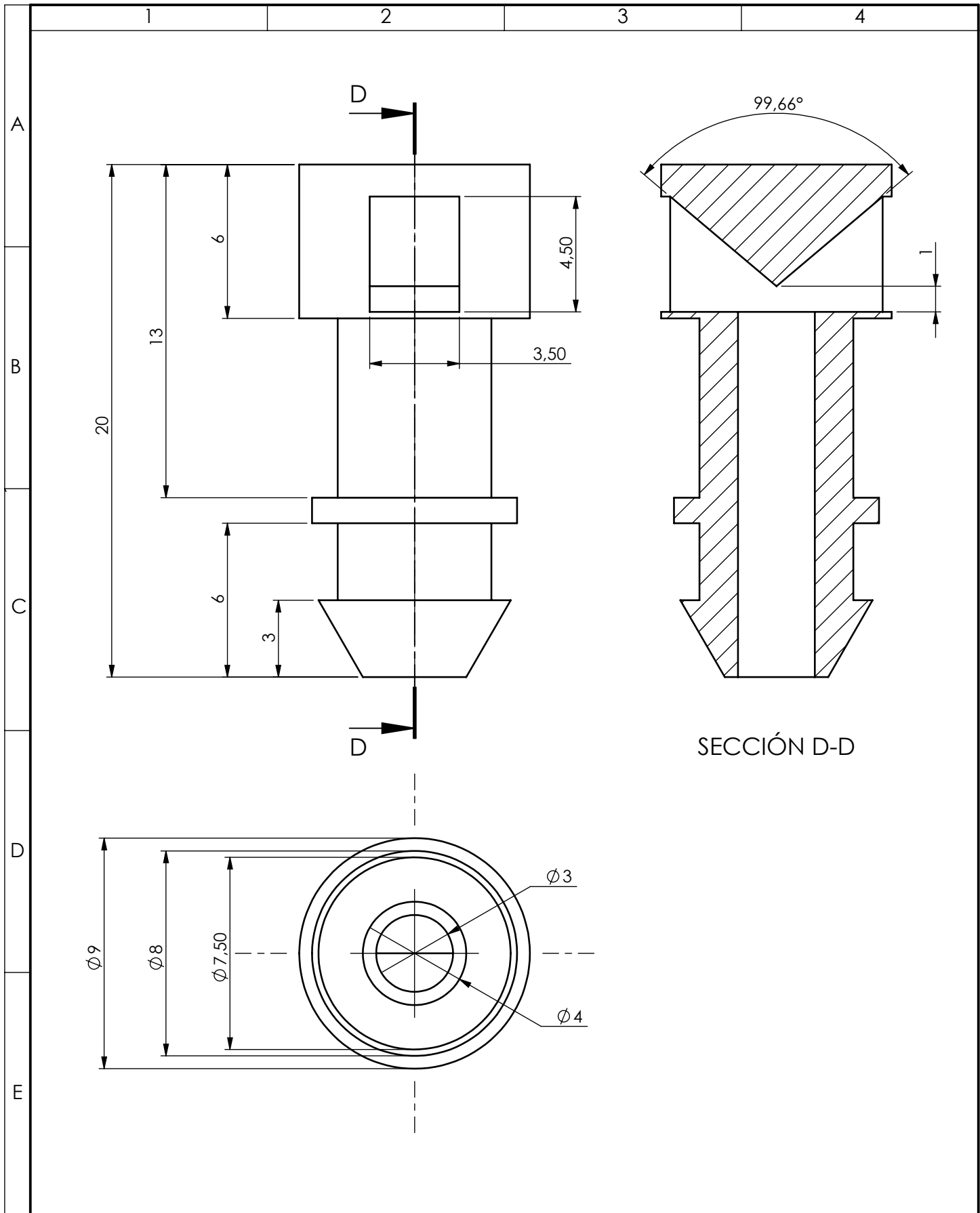


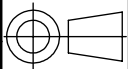
SECCIÓN B-B

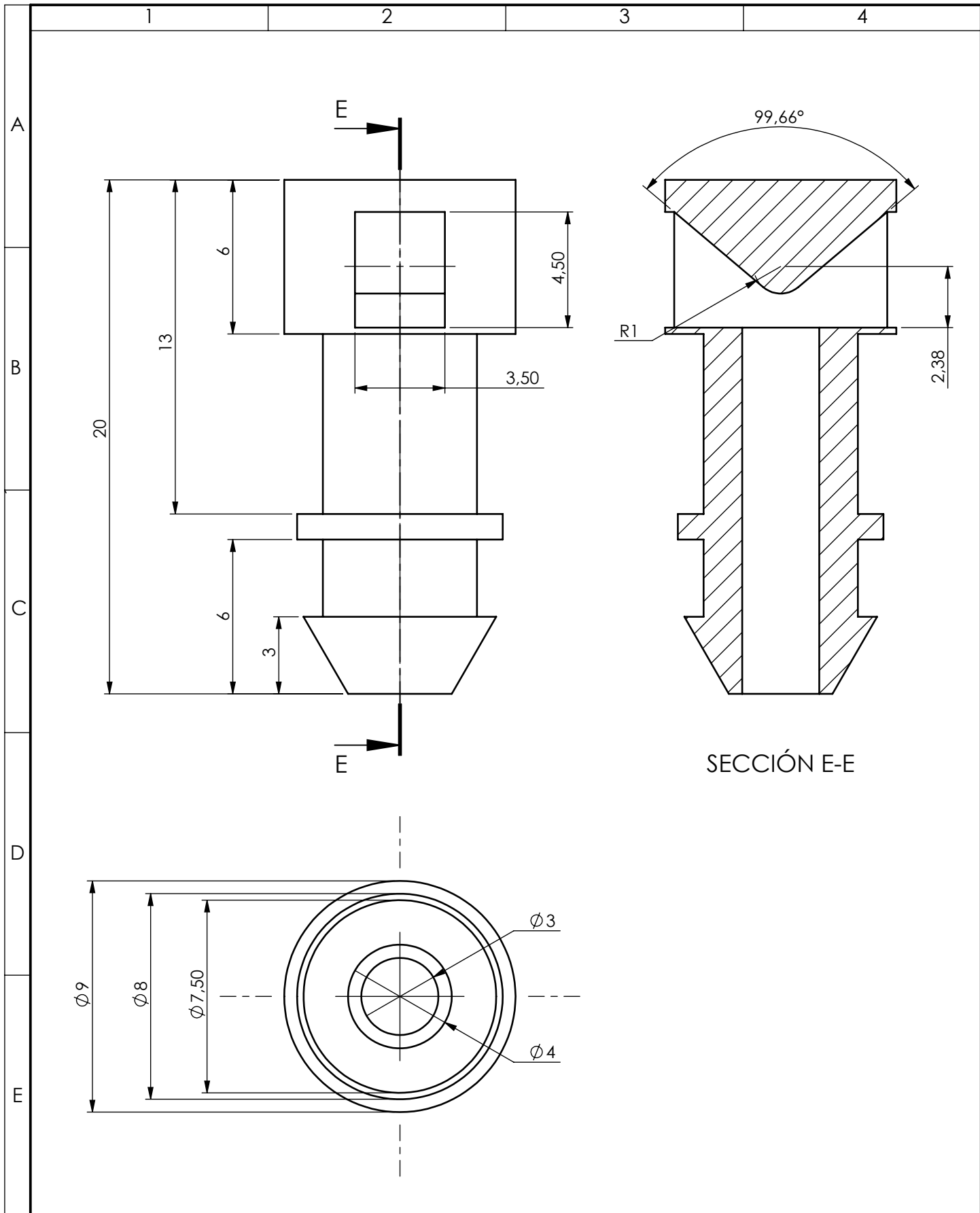
				Tolerancia:	Peso:	Material:	
				±1	1.5 gr.	ASA	
				Fecha:	Nombre:	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 07/07/2016	ERIC POVEDA		
				Revisó: 13/03/2017	Ing. Diego Nuñez		
				Aprobó: 13/03/2017	Ing. Diego Nuñez	N.º de Lámina:	Registro:
				U.T.A.			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	INGENIERÍA MECÁNICA		(Sustitución)	



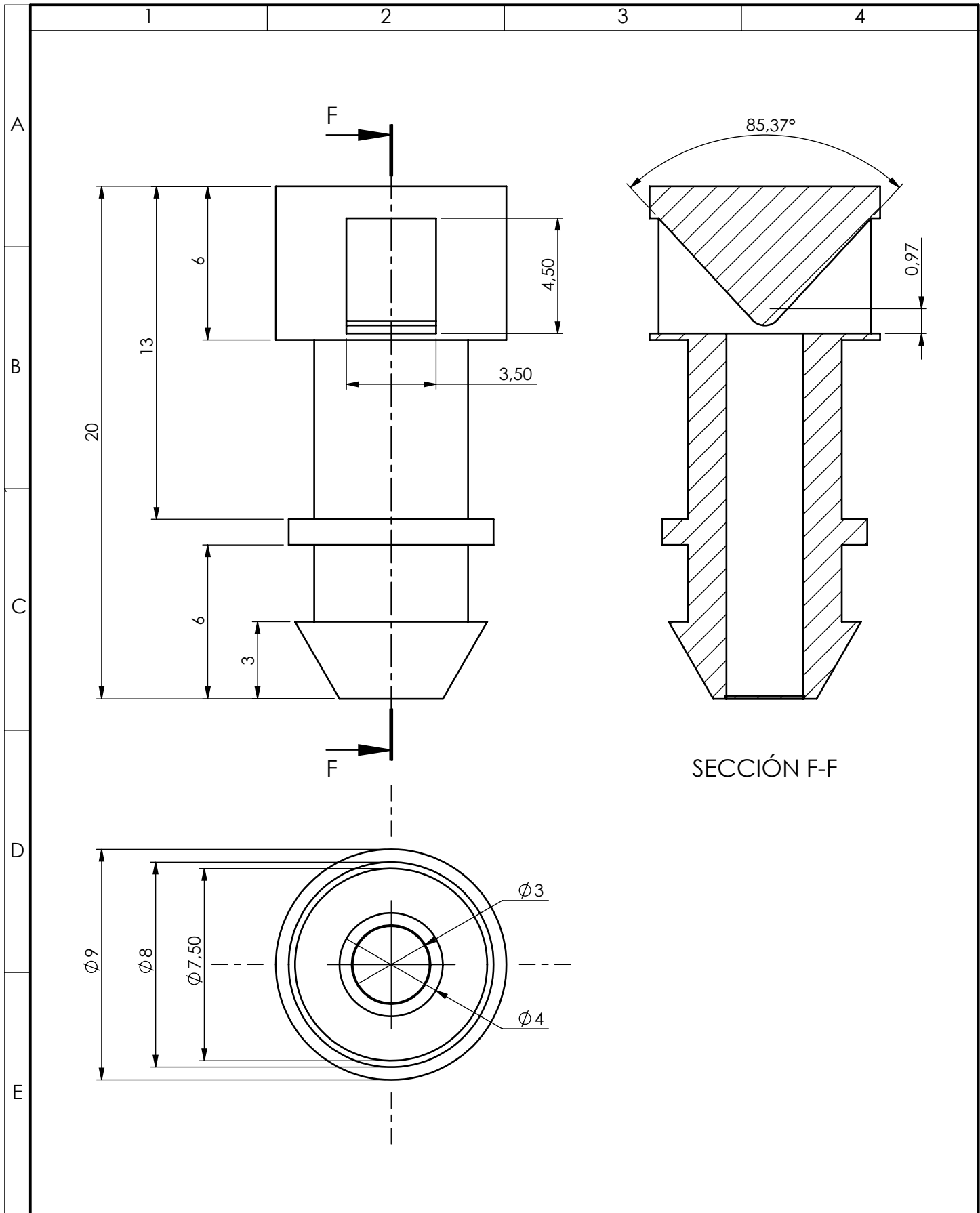
				Tolerancia: ± 1	Peso: 1.9 gr.	Material: ASA	
				Fecha: 07/07/2016	Nombre: ERIC POVEDA	Denominación: D3	Escala: 5:1
				Revisó: 13/03/2017	Ing. Diego Nuñez		
				Aprobó: 13/03/2017	Ing. Diego Nuñez		
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		N.º de Lámina: 4 DE 7	Registro:
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



				Tolerancia: ±1	Peso: 1.9 gr.	Material: ASA	
				Fecha: 07/07/2016	Nombre: ERIC POVEDA	Denominación: D4	Escala: 5:1
				Revisó: 13/03/2017	Ing. Diego Nuñez		
				Aprobó: 13/03/2017	Ing. Diego Nuñez		
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		N.º de Lámina: 5 DE 7	Registro: 
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

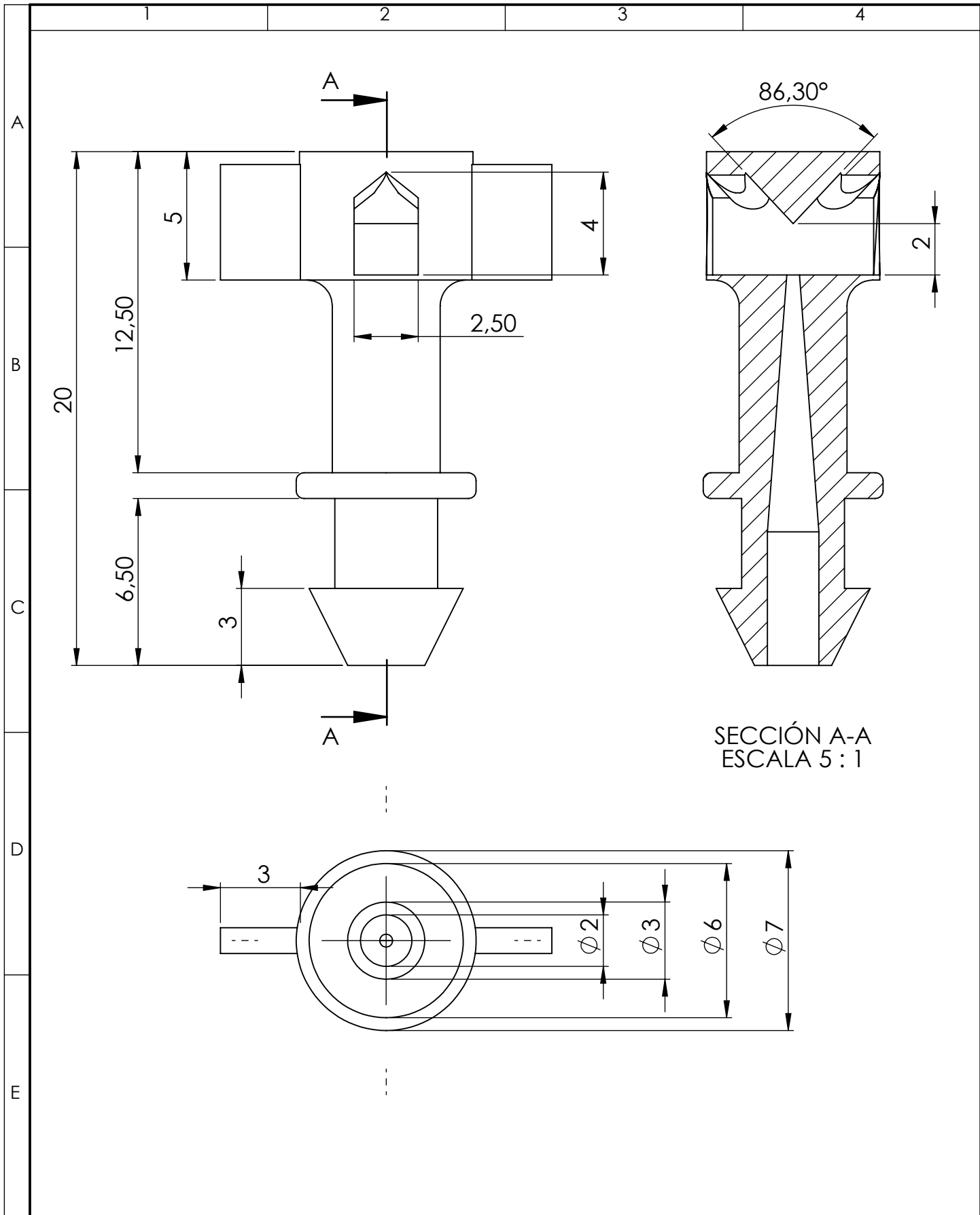


				Tolerancia: ± 1	Peso: 1.9 gr.	Material: ASA	
				Fecha: 07/07/2016	Nombre: ERIC POVEDA	Denominación: D5	Escala: 5:1
				Revisó: 13/03/2017	Ing. Diego Nuñez		
				Aprobó: 13/03/2017	Ing. Diego Nuñez		
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		N.º de Lámina: 6 DE 7	Registro:
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



SECCIÓN F-F

				Tolerancia:	Peso:	Material:	
				±1	1.9 gr.	ASA	
				Fecha:	Nombre:	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 07/07/2016	ERIC POVEDA		
				Revisó: 13/03/2017	Ing. Diego Nuñez		
				Aprobó: 13/03/2017	Ing. Diego Nuñez	N.º de Lámina:	Registro:
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



SECCIÓN A-A
ESCALA 5 : 1

				Tolerancia: ± 1	Peso: 1.65 gr.	Material: ASA		
						Título: DO	Escala: 5:1	
				Fecha	Nombre			
				Dibujo: 07/07/2016	ERIC POVEDA			
				Revisó: 13/03/2017	Ing. Diego Nuñez			
				Aprobó: 13/03/2017	Ing. Diego Nuñez			
				U.T.A. INGENIERIA MECANICA		N. Lámina: 1 de 7	Registro:	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución:		