



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 EMISOR DE GOTEO PARA RIEGO
TECNIFICADO PARCELARIO DE CULTIVO DE MORA EN EL CANTÓN
PELILEO”

AUTOR: Juan Diego Zúñiga Sánchez

TUTOR: Ing. MSc. Diego Núñez

Ambato –Ecuador

2017

APROBACIÓN POR EL TUTOR

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de tutor del Proyecto técnico, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, con el tema “DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN EMISOR DE GOTEO PARA RIEGO TECNIFICADO PARCELARIO DE CULTIVO DE MORA EN EL CANTÓN PELILEO”, elaborado por el Sr. Juan Diego Zúñiga Sánchez, portador de la cédula de ciudadanía: 1804749669 egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica.

Certifico:

- Que el presente proyecto técnico es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

.....
Ing. MSc. Diego Núñez

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO

Declaro que el presente Trabajo Experimental bajo el tema: “DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN EMISOR DE GOTEO PARA RIEGO TECNIFICADO PARCELARIO DE CULTIVO DE MORA EN EL CANTÓN PELILEO”, en su totalidad, incluyendo ideas, criterios, análisis y conclusiones son de mi completa autoría.

.....
Juan Diego Zúñiga Sánchez

C. I.: 1804749669

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Proyecto técnico o parte 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 este trabajo experimental 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.

.....
Juan Diego Zúñiga Sánchez

C. I.: 1804749669

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Proyecto técnico realizado por el estudiante Juan Diego Zúñiga Sánchez de la carrera de Ingeniería Mecánica, bajo el tema: “DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN EMISOR DE GOTEO PARA RIEGO TECNIFICADO PARCELARIO DE CULTIVO DE MORA EN EL CANTÓN PELILEO”

Ambato, Marzo del 2017

Para constancia firman:

.....

Ing. Mg. Alex Mayorga

.....

Ing. Mg. Luis Escobar

DEDICATORIA

Esta tesis la dedico a dios, ya que gracias a él he logrado concluir mi carrera universitaria.

A mi padre Juan por ser el ejemplo de perseverancia y constancia que siempre lo caracterizaba y que me ha infundido siempre, sé que desde el cielo será la luz que guie mi camino. A mi madre Sabina por su esfuerzo y dedicación para sacar a delante a nuestra familia, gracias papis por su amor, ustedes son el cimiento para la construcción de mi vida profesional.

A mis hermanos Sebastián y Mateo por brindarme su apoyo, cariño y confianza.

A mi familia, amigos y vecinos que supieron brindarme su apoyo en los momentos más difíciles de mi vida.

AGRADECIMIENTO

Un sincero agradecimiento a la Universidad Técnica de Ambato por permitirme continuar mis estudios.

A los docentes de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica por compartir sus experiencias profesional y sus conocimientos que día a día nos transmitían en las aulas.

Al Ing. MSc. Diego Núñez, por su guía, paciencia, y apoyo en el desarrollo de este trabajo.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

PÁGINAS PRELIMINARES

APROBACIÓN POR EL TUTOR.....	II
AUTORÍA DEL TRABAJO.....	III
DERECHOS DE AUTOR.....	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	V
DEDICATORIA.....	VI
AGRADECIMIENTO.....	VII
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
INDICE DE TABLAS.....	XVIII
RESUMEN EJECUTIVO.....	XXII
CAPÍTULO I.....	1
ANTECEDENTES.....	1
1.1 TEMA.....	1
1.2 ANTECEDENTES.....	1
1.2.1 Sistemas de riego en el Ecuador.....	1
1.2.2 Nivel de tecnificación e innovación en los sistemas riego en el Ecuador.....	1
1.2.3 Optimización del recurso hídrico.....	2
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	3
1.4 OBJETIVOS.....	4
1.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	4
1.4.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS.....	4
CAPÍTULO II.....	5
FUNDAMENTACIÓN.....	5
2.1 Investigaciones previas.....	5
2.2 Fundamentación teórica.....	6
2.2.1 Definición de los sistemas riego agrícola.....	6
2.2.2 Sistema de riego superficial.....	6
2.2.3 Sistema de riego por aspersion.....	7
2.2.4 Sistema de riego por goteo.....	7

2.2.5 Principales componentes de un sistema de riego por goteo	7
2.2.6 Tipos de riego por goteo.....	8
2.2.6.1 Riego por goteo bajo la superficie	8
2.2.6.2 Riego por goteo superficial.....	9
2.2.7 Emisores de goteo para riego agrícola.....	10
2.2.8 Tipos de emisores de goteo para riego	11
2.2.8.1 Principales tipos de emisores de goteo	11
2.2.9 Ventajas y desventajas del riego por goteo	13
2.2.10 Obstrucción de los emisores de riego por goteo causados por el agua	14
2.2.10.1 Obstrucción química.....	14
2.2.10.2 Obstrucciones físicas	15
2.2.10.3 Obstrucciones orgánicas	15
2.2.11 Relación suelo – agua – planta	15
2.2.11.1 Características físicas del suelo y su relación con la planta y el riego .	15
2.2.11.2 Movimiento del agua en el suelo	16
2.2.11.3 Estados de humedad del suelo	17
2.2.12 Relación planta – agua – clima.....	17
2.2.13 Parámetros de evaluación del riego por goteo.....	17
2.2.14 Velocidad de flujo del emisor en relación con la cabeza de presión.....	19
2.2.15 Pérdidas de carga.....	20
2.2.16 Dinámica de fluidos computacional (CFD).....	24
2.2.17 Método de volúmenes finitos	24
2.2.17.1 Conservación de la masa.....	26
2.2.17.2 Conservación de la cantidad de movimiento	26
2.2.17.3 Conservación de la energía	26
2.2.17.4 Ecuación Navier-Stokes.....	26
2.2.18 La turbulencia y su asunción en las ecuaciones de Navier-Stokes. Las ecuaciones de RANS (Reinolds Averaged Navier-Stokes).....	27
2.2.19 Softwares utilizados en el análisis de dinámica de fluidos computacional CDF.....	27
2.2.19.1 Programas de licencia publica general (GPL) para dinámica de fluidos computacional (CFD)	28
2.2.19.2 Programas comerciales para dinámica de fluidos computacional (CFD).....	28

2.2.20 Procedimiento para el análisis de dinámica de fluidos computacional	29
2.2.20.1 Geometría	29
2.2.20.2 Mallado	30
2.2.20.2.1 Clasificación de las mallas.....	31
2.2.20.2.2 Tipos de elementos	32
2.2.20.2.3 Evaluación de la calidad de malla.....	33
2.2.20.3 CFD Pre-procesamiento.....	36
2.2.20.4 CFD Solver	36
2.2.20.5 CFD Post-procesamiento	37
CAPÍTULO III.....	38
DESARROLLO DEL PROYECTO	38
3.1 Análisis e identificación de los emisores de goteo que ofrece el mercado actual.	38
3.1.1 Modelos de emisores de goteo	38
3.1.1.1 Jain J-SC PC	39
3.1.1.2 Clicktif Hd	41
3.1.1.3 Netafim	43
3.1.1.4 Rainbow Italy.....	45
3.1.2 Identificación de los parámetros y características de los emisores	47
3.1.3 Materiales de fabricación	50
3.1.3.1 Materiales de los goteros existentes en el mercado	51
3.1.4 Evaluación de los emisores de goteo.....	51
3.1.4.1 Banco de pruebas.....	52
3.1.4.2 Tiempo de duración	54
3.1.4.3 Recolección de la información evaluando a diferentes presiones	54
3.1.4.4 Recolección de la información evaluando a 2 bar de presión.....	56
3.1.4.5 Resultados obtenidos	62
3.1.4.6 Relación entre el caudal y presión	63
3.2. Identificación de los parámetros necesarios para el diseño de emisores de goteo.	70
3.2.1 Cálculo del caudal de descarga para un cultivo de mora.....	70
3.2.1.1 Área de estudio	70

3.2.1.2 Cálculo de la evapotranspiración potencial mediante la fórmula de Hargreaves.	71
3.2.1.3 Cálculo de la radiación solar incidente <i>Rs</i>	72
3.2.1.4 Cálculo de la evapotranspiración del cultivo (ETc).....	73
3.2.1.5 Cálculo del caudal requerido por el emisor de goteo (<i>Qe</i>).....	77
3.2.2 Hidráulica en un emisor de goteo	77
3.2.3 Cálculo de pérdidas de energía en el lateral del sistema.	78
3.2.4 Parámetros de diseño del emisor	82
3.3 Diseño del emisor de goteo mediante simulación numérica.....	83
3.3.1 Simulaciones de los diseños de emisores de goteo	83
3.3.2 Simulación emisor Rainbow Italy	92
3.3.2.1 Verificación de la calidad de la malla.....	93
3.3.2.2 Configuración de la solución	101
3.3.2.3 Configuración (<i>Setup</i>).....	103
3.3.2.4 Resultados del análisis CFD	108
3.3.2.4.1 Contornos de Velocidad emisor Rainbow Italy adquirido.	109
3.3.2.4.2 Contornos de Presión Rainbow Italy adquirido.....	111
3.3.2.4.3 Contornos de turbulencia y esfuerzos cortantes en la pared Rainbow Italy adquirido.	113
3.3.3 Simulación emisor A geometría propuesta.	117
3.3.3.1 Geometría de análisis.....	117
3.3.3.2 Verificación de la calidad de la malla.....	118
3.3.3.3 Configuración de la solución	120
3.3.3.4 Resultados del análisis CFD	121
3.3.2.4.1 Contornos de Velocidad del emisor A geometría propuesta.	121
3.3.2.4.2 Contornos de Presión del emisor A geometría propuesta.....	124
3.3.2.4.3 Contornos de turbulencia y esfuerzos cortantes en la pared del emisor A geometría propuesta.	126
3.3.3 Simulación emisor B geometría propuesta.....	130
3.3.4.1 Geometría de análisis.....	130
3.3.4.2 Verificación de la calidad de la malla.....	131
3.3.4.3 Configuración de la solución	133
3.3.4.4 Resultados del análisis CFD	134

3.3.2.4.1 Contornos de Velocidad del emisor B geometría propuesta.....	134
3.3.2.4.2 Contornos de Presión del emisor B geometría propuesta.	137
3.3.2.4.3 Contornos de turbulencia y esfuerzos cortantes en la pared del emisor B geometría propuesta.	139
3.3.5 Simulación emisor C geometría propuesta.....	143
3.3.5.1 Geometría de análisis.....	143
3.3.5.2 Verificación de la calidad de la malla.....	144
3.3.5.3 Configuración de la solución	146
3.3.3.4 Resultados del análisis CFD	147
3.3.2.4.1 Contornos de Velocidad del emisor C geometría propuesta.....	147
3.3.2.4.2 Contornos de Presión del emisor C geometría propuesta.	150
3.3.2.4.3 Contornos de turbulencia y esfuerzos cortantes en la pared del emisor C geometría propuesta.	152
3.3.5 Selección del diseño optimo del emisor de goteo.....	156
3.4 Fabricación del emisor de goteo mediante impresión 3D.	160
3.4.1 Impresora 3D Fortus 900mc	160
3.4.2 Material ABSi.....	161
3.4.3 Remoción de material de soporte	162
3.5 Pruebas de funcionamiento.....	164
3.5.1 Pruebas de funcionamiento del emisor Rainbow Italy.	164
3.5.2 Pruebas de funcionamiento del emisor C diseño seleccionado.	165
CAPÍTULO IV.....	170
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	170
4.1 Conclusiones.....	170
4.2 Recomendaciones	171
MATERIALES DE REFERENCIA	173
Bibliografía.....	173
ANEXOS	176
Anexo 1: Tabla de radiación solar extraterrestre en mm/día.	176
Anexo 3: Tabla para el cálculo del coeficiente <i>K</i> de contracción súbita.	176
Anexo 4: Catálogo del emisor de goteo auto compensado Jain J-SC PC Azul.	176
Anexo 5: Catálogo del emisor de goteo auto compensado ClickTif Plomo.	176
Anexo 6: Catálogo del emisor de goteo auto compensado Netafim Verde.	176

Anexo 7: Catálogo del emisor de goteo no compensado Rainbow Italy Negro.	176
Anexo 8: Medición de caudales a diferentes presiones.	176
Anexo 9: Medición de caudales a 2 bar de presión en un mismo lateral de goteo. .	176
Anexo 10: Resultados de la simulación CFD.	176
Anexo 11: Fabricación del emisor de goteo.....	176
ANEXO 13: Pruebas de funcionamiento.	176
ANEXO 13: Análisis de suelo.	176
Anexo 14: Planos	176
ANEXO.....	177

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1. Sistema de riego por goteo [10].....	8
Figura 2. 2. Línea de riego por goteo bajo la superficie [11].....	9
Figura 2. 3. Patrones de humedad del suelo bajo riego por goteo [11].....	10
Figura 2. 4. Emisor de ruta de flujo largo [11]	11
Figura 2. 5. Emisor de ruta de flujo cortó [11]	12
Figura 2. 6. Emisor de ruta de flujo turbulento [11]	12
Figura 2. 7. Emisor vortex [11].....	12
Figura 2. 8. Emisor de diafragma [11]	13
Figura 2. 9. Emisor de ruta de flujo ajustable [11]	13
Figura 2. 10. Forma del bulbo respecto a la textura del suelo [12].....	16
Figura 2. 11. Vista esquemática de flujo (a) en línea (b) integrado en la línea de emisores [14].....	23
Figura 2. 12. Discretización de dominio usando volúmenes finitos [16]	25
Figura 2. 13. Flujo a lo largo de un tubo circular [22].....	30
Figura 2. 14. Discretización o mallado [22]	30
Figura 2. 15. a). Malla estructurada b), Malla estructurada multibloque [17].....	31
Figura 2. 16. Malla no estructurada [17].....	31
Figura 2. 17. Elemento unidimensional [25]	32
Figura 2. 18. Elemento bidimensional [25]	33
Figura 2. 19. Tipos de elementos tridimensionales [25].....	33
Figura 2. 20. Cambio de tamaño [17]	34

Figura 2. 21. Relación de aspecto [17]	34
Figura 2. 22. Oblicuidad (Skewness) [17]	35
Figura 2. 23. Calidad ortogonal (Orthogonal Quality) [17].....	35
Figura 2. 24. Factor de deformación (Warping factor) [17]	35
Figura 2. 25. Ángulo máximo de esquina [17]	36
Figura 3. 1. Gotero auto compensado [26]	39
Figura 3. 2. Gráfica caudal vs presión. [26].....	40
Figura 3. 3. Gotero auto compensado Clicktif Hd [27]	41
Figura 3. 4. Código de colores emisor clicktif [27]	42
Figura 3. 5. Gráfica caudal vs presión emisor clicktif [27].....	42
Figura 3. 6. Gotero auto compensado netafim [Autor].....	43
Figura 3. 7. Tipos de emisores de acuerdo al código de colores [28].....	44
Figura 3. 8. Gráfica caudal vs presión emisor netafim [28].....	44
Figura 3. 9. Emisores de goteo J-turbo [26].....	45
Figura 3. 10. Gráfica caudal vs presión emisor [26].....	46
Figura 3. 11. Regulación de presión 1 bar constante durante 5 minutos (Fuente: Autor)	54
Figura 3. 12. Control del tiempo de prueba (Fuente: Autor)	55
Figura 3. 13. Proceso de medición (Fuente: Autor).....	55
Figura 3. 14. Final del proceso de la prueba (Fuente: Autor)	56
Figura 3. 15. Verificación del volumen obtenido en la prueba (Fuente: Autor).....	56
Figura 3. 16. Estabilidad del caudal de un emisor autocompensado (Fuente: Autor)	56
Figura 3. 17. Regulación de presión (Fuente: Autor)	57
Figura 3. 18. Proceso de medición (Fuente: Autor).....	57
Figura 3. 19. Control del tiempo de duración del proceso (Fuente: Autor).....	57
Figura 3. 20. Final del proceso de la prueba (Fuente: Autor)	58
Figura 3. 21. Verificación del volumen obtenido en la prueba (Fuente: Autor).....	58
Figura 3. 22. Curva caudal vs presión emisor Jain J-SC PC (Fuente: Autor).....	64
Figura 3. 23 Curva caudal vs presión emisor Clicktif HD. (Fuente: Autor).....	66
Figura 3. 24 Curva caudal vs presión emisor Netafim. (Fuente: Autor).....	67
Figura 3. 25 Curva caudal vs presión emisor Rainbow Italy. (Fuente: Autor).....	69

Figura 3. 26 Ubicación geografía del lugar de estudio [29].....	70
Figura 3. 27. Diagrama de análisis. (Fuente: Autor).....	79
Figura 3. 28. Diagrama de flujo para simulación en CFD. (Fuente: Autor)	84
Figura 3. 29. Project Workbench. (Fuente: Autor)	85
Figura 3. 30. A Geometry DesingnModel. (Fuente: Autor)	85
Figura 3. 31. Opción inflation (Fuente: Autor).....	86
Figura 3. 32. Escoger el método. (Fuente: Autor)	86
Figura 3. 33. Diagrama de flujo para simulación en CFD. (Fuente: Autor)	86
Figura 3. 34. Nombre la sección seleccionada. (Fuente: Autor).....	87
Figura 3. 35. Ventana inicial de fluent. (Fuente: Autor).....	87
Figura 3. 36. Configuración de los parámetros generales. (Fuente: Autor).....	88
Figura 3. 37. Modelos de turbulencia. (Fuente: Autor)	88
Figura 3. 38. Características de los modelos de turbulencia. (Fuente: Autor).....	89
Figura 3. 39. Propiedades del fluido. (Fuente: Autor)	89
Figura 3. 40. Parámetros de entrada. (Fuente: Autor).....	89
Figura 3. 41. Configuración de la solución. (Fuente: Autor).....	90
Figura 3. 42. Monitores de rastreo de convergencia. (Fuente: Autor).....	90
Figura 3. 43. Disminución del tiempo de convergencia. (Fuente: Autor)	91
Figura 3. 44. Resultados de los parámetros ingresados. (Fuente: Autor)	91
Figura 3. 45. Geometría de las partes del emisor de goteo. (Fuente: Autor)	92
Figura 3. 46. . Geometría del flujo de agua. (Fuente: Autor).....	92
Figura 3. 47. Vista isométrica del mallado 1. (Fuente: Autor)	93
Figura 3. 48. Vista de corte del mallado 1. (Fuente: Autor)	93
Figura 3. 49. Evaluación de la relación de aspecto (Fuente: Autor).....	94
Figura 3. 50. Evaluación de oblicuidad. (Fuente: Autor)	94
Figura 3. 51. Vista isométrica del mallado 2. (Fuente: Autor)	95
Figura 3. 52. Vista de corte del mallado 2. (Fuente: Autor)	96
Figura 3. 53. Evaluación de la relación de aspecto. (Fuente: Autor).....	96
Figura 3. 54. Evaluación de oblicuidad. (Fuente: Autor)	97
Figura 3. 55. Vista isométrica del mallado 3. (Fuente: Autor)	98
Figura 3. 56. Vista de corte del mallado 3. (Fuente: Autor)	98
Figura 3. 57. Vista del mallado seleccionado. (Fuente: Autor)	99
Figura 3. 58. Evaluación de la relación de aspecto. (Fuente: Autor).....	99

Figura 3. 59. Evaluación de oblicuidad. (Fuente: Autor)	100
Figura 3. 60. Evaluación de la calidad ortogonal. (Fuente: Autor).....	100
Figura 3. 61. Diagrama de flujo de la solución basada en la presión. [36].....	102
Figura 3. 62. Vista general de dominio con las condiciones de frontera. (Fuente: Autor)	105
Figura 3. 63. Convergencia con residuales escalados. (Fuente: Autor).....	107
Figura 3. 64. Convergencia con Balance de flujo volumétrico. (Fuente: Autor)....	107
Figura 3. 65. Convergencia con el número de iteraciones. (Fuente: Autor).....	108
Figura 3. 66. Puntos de análisis. (Fuente: Autor)	108
Figura 3. 67. Contorno de velocidad en la entrada del emisor. (Fuente: Autor)....	109
Figura 3. 68. Contorno de velocidad laberinto superior. (Fuente: Autor)	109
Figura 3. 69. Contorno de velocidad laberinto Inferior. (Fuente: Autor)	110
Figura 3. 70. Contorno de velocidad salida del emisor. (Fuente: Autor).....	110
Figura 3. 71. Contorno de presión entrada del emisor. (Fuente: Autor).....	111
Figura 3. 72. Contorno de presión laberinto Superior. (Fuente: Autor)	111
Figura 3. 73. Contorno de presión laberinto inferior. (Fuente: Autor)	112
Figura 3. 74. Contorno de presión laberinto inferior. (Fuente: Autor)	112
Figura 3. 75. Contorno de turbulencia laberinto superior. (Fuente: Autor).....	113
Figura 3. 76. Contorno de turbulencia laberinto inferior. (Fuente: Autor).....	113
Figura 3. 77. Contorno de fuerzas cortantes en la pared. (Fuente: Autor).....	114
Figura 3. 78. Geometría de las partes del emisor de goteo. (Fuente: Autor)	117
Figura 3. 79. Geometría del flujo de agua. (Fuente: Autor).....	117
Figura 3. 80. Vista isométrica del mallado emisor A. (Fuente: Autor).....	118
Figura 3. 81. Vista de corte del mallado del emisor A. (Fuente: Autor)	118
Figura 3. 82. Evaluación de la relación de aspecto. (Fuente: Autor).....	119
Figura 3. 83. Evaluación de oblicuidad. (Fuente: Autor)	119
Figura 3. 84. Evaluación de la calidad ortogonal. (Fuente: Autor).....	120
Figura 3. 85. Convergencia con residuales escalados. (Fuente: Autor).....	121
Figura 3. 86. Convergencia con Balance de flujo volumétrico. (Fuente: Autor)....	121
Figura 3. 87. Contorno de velocidad en la entrada del emisor. (Fuente: Autor)....	122
Figura 3. 88. Contorno de velocidad laberinto superior. (Fuente: Autor)	122
Figura 3. 89. Contorno de velocidad laberinto Inferior. (Fuente: Autor)	123
Figura 3. 90. Contorno de velocidad salida del emisor. (Fuente: Autor).....	123

Figura 3. 91. Contorno de presión entrada del emisor. (Fuente: Autor)	124
Figura 3. 92. Contorno de presión laberinto Superior. (Fuente: Autor)	124
Figura 3. 93. Contorno de presión laberinto inferior. (Fuente: Autor)	125
Figura 3. 94. Contorno de presión laberinto inferior. (Fuente: Autor)	125
Figura 3. 95. Contorno de turbulencia laberinto superior. (Fuente: Autor).....	126
Figura 3. 96. Contorno de turbulencia laberinto inferior. (Fuente: Autor)	126
Figura 3. 97. Contorno de fuerzas cortantes en la pared. (Fuente: Autor).....	127
Figura 3. 98. Geometría de las partes del emisor de goteo. (Fuente: Autor)	130
Figura 3. 99. Geometría del flujo de agua. (Fuente: Autor).....	130
Figura 3. 100. Vista isométrica del mallado emisor A. (Fuente: Autor).....	131
Figura 3. 101. Vista de corte del mallado del emisor A. (Fuente: Autor).....	131
Figura 3. 102. Evaluación de la relación de aspecto. (Fuente: Autor).....	132
Figura 3. 103. Evaluación de oblicuidad. (Fuente: Autor)	132
Figura 3. 104. Evaluación de la calidad ortogonal. (Fuente: Autor).....	133
Figura 3. 105. Convergencia con residuales escalados. (Fuente: Autor).....	134
Figura 3. 106. Convergencia con Balance de flujo volumétrico. (Fuente: Autor)..	134
Figura 3. 107. Contorno de velocidad en la entrada del emisor. (Fuente: Autor)...	135
Figura 3. 108. Contorno de velocidad laberinto superior. (Fuente: Autor)	135
Figura 3. 109. Contorno de velocidad laberinto Inferior. (Fuente: Autor)	136
Figura 3. 110. Contorno de velocidad salida del emisor. (Fuente: Autor).....	136
Figura 3. 111. Contorno de presión entrada del emisor. (Fuente: Autor).....	137
Figura 3. 112. Contorno de presión laberinto Superior. (Fuente: Autor)	137
Figura 3. 113. Contorno de presión laberinto inferior. (Fuente: Autor)	138
Figura 3. 114. Contorno de presión laberinto inferior. (Fuente: Autor)	138
Figura 3. 115. Contorno de turbulencia laberinto superior. (Fuente: Autor)	139
Figura 3. 116. Contorno de turbulencia laberinto inferior. (Fuente: Autor)	139
Figura 3. 117. Contorno de fuerzas cortantes en la pared. (Fuente: Autor).....	140
Figura 3. 118. Geometría de las partes del emisor de goteo. (Fuente: Autor)	143
Figura 3. 119. Geometría del flujo de agua. (Fuente: Autor).....	143
Figura 3. 120. Vista isométrica del mallado emisor A. (Fuente: Autor).....	144
Figura 3. 121. Vista de corte del mallado del emisor A. (Fuente: Autor).....	144
Figura 3. 122. Evaluación de la relación de aspecto. (Fuente: Autor).....	145
Figura 3. 123. Evaluación de oblicuidad. (Fuente: Autor)	145

Figura 3. 124. Evaluación de la calidad ortogonal. (Fuente: Autor).....	146
Figura 3. 125. Convergencia con residuales escalados. (Fuente: Autor).....	147
Figura 3. 126. Convergencia con Balance de flujo volumétrico. (Fuente: Autor)..	147
Figura 3. 127. Contorno de velocidad en la entrada del emisor. (Fuente: Autor)...	148
Figura 3. 128. Contorno de velocidad laberinto superior. (Fuente: Autor)	148
Figura 3. 129. Contorno de velocidad laberinto Inferior. (Fuente: Autor)	149
Figura 3. 130. Contorno de velocidad salida del emisor. (Fuente: Autor).....	149
Figura 3. 131. Contorno de presión entrada del emisor. (Fuente: Autor).....	150
Figura 3. 132. Contorno de presión laberinto Superior. (Fuente: Autor)	150
Figura 3. 133. Contorno de presión laberinto inferior. (Fuente: Autor)	151
Figura 3. 134. Contorno de presión laberinto inferior. (Fuente: Autor)	151
Figura 3. 135. Contorno de turbulencia laberinto superior. (Fuente: Autor).....	152
Figura 3. 136. Contorno de turbulencia laberinto inferior. (Fuente: Autor).....	152
Figura 3. 137. Contorno de fuerzas cortantes en la pared. (Fuente: Autor).....	153
Figura 3. 138. Caudal vs presión de los 3 diseños propuestos. (Fuente: Autor).....	160
Figura 3. 139. Pasos para obtener una impresión 3D. (Fuente: Autor)	160
Figura 3. 140. Impresora 3D. (Fuente: Autor).....	161
Figura 3. 141. Máquina para remoción de material de soporte. (Fuente: Autor)....	162
Figura 3. 142. Caudal Vs presión Software y medición. (Fuente: Autor)	164
Figura 3. 143. Regulación de presión 3 bar constante durante 5 minutos (Fuente: Autor)	166
Figura 3. 144. Control del tiempo de prueba (Fuente: Autor)	166
Figura 3. 145. Verificación del volumen obtenido en la prueba (Fuente: Autor)...	167
Figura 3. 146. Caudal Vs presión Software y medición. (Fuente: Autor)	168

INDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1. Calidad de agua en relación con la obstrucción de goteros [13].....	15
Tabla 2. 2. Sistema de uniformidad basado en el coeficiente de variación (<i>CV</i>) [14]	19
Tabla 2. 3. Coeficiente de uniformidad (<i>CU</i>) [14].....	19
Tabla 2. 4. Valores del exponente para emisores de varios regímenes de flujo [14]	20

Tabla 2. 5. Rugosidad promedio de la pared de tuberías existentes en el mercado [15]	22
Tabla 2. 6. Parámetros de control de la calidad de malla [17]	36
Tabla 3. 1. Emisores de goteo adquiridos en el mercado	39
Tabla 3. 2. Código de colores del emisor [26]	40
Tabla 3. 3. JSCPC02 código de descarga del emisor [26]	40
Tabla 3. 4. Datos técnicos código de colores [26]	46
Tabla 3. 5. Datos caudal vs presión [26]	46
Tabla 3. 6. Análisis de los componentes del emisor de goteo.....	47
Tabla 3. 7. Materiales de construcción de los emisores de goteo	51
Tabla 3. 8. Características principales de los emisores de goteo	52
Tabla 3. 9. Imágenes del banco de pruebas.....	52
Tabla 3. 10. Accesorios utilizados en banco de pruebas.....	53
Tabla 3. 11. Accesorios utilizados en banco de pruebas.....	53
Tabla 3. 12. Datos obtenidos en la medición de caudales del emisor Jain J-SC PC.....	59
Tabla 3. 13. Datos obtenidos con variación de presión del emisor Jain J-SC PC....	59
Tabla 3. 14. Datos obtenidos en la medición de caudales del emisor Clicktif HD ...	60
Tabla 3. 15. Datos obtenidos con variación de presión del emisor Clicktif HD.....	60
Tabla 3. 16. Datos obtenidos en la medición de caudales emisor Netafim.....	61
Tabla 3. 17. Datos obtenidos con variación de presión emisor Netafim.....	61
Tabla 3. 18. Datos obtenidos en la medición de caudales emisor Rainbow Italy	62
Tabla 3. 19. Datos obtenidos con variación de presión emisor Rainbow Italy	62
Tabla 3. 20. Resultados obtenidos a 2 Bar de presión.....	63
Tabla 3. 21. Clasificación según el (Cv)	63
Tabla 3. 22. Clasificación según el (Uc)	63
Tabla 3. 23. Valores obtenidos en los ensayos emisor Jain J-SC PC.....	64
Tabla 3. 24. Valores calculados emisor Clicktif HD.....	65
Tabla 3. 25. Valores obtenidos en los ensayos emisor Clicktif HD.....	65
Tabla 3. 26. Valores calculados emisor Clicktif HD.....	66
Tabla 3. 27. Valores obtenidos en los ensayos emisor Netafim.....	67
Tabla 3. 28. Valores calculados del emisor Netafim.....	68

Tabla 3. 29. Valores obtenidos en los ensayos emisor Rainbow Italy	68
Tabla 3. 30. Valores calculados del emisor Rainbow Italy	69
Tabla 3. 31. Resumen de las ecuaciones ideales	70
Tabla 3. 32. Datos climáticos históricos [30].....	71
Tabla 3. 33. Cálculo de la radiación para cada mes del año	72
Tabla 3. 34. Cálculo de la evapotranspiración potencial para cada mes del año.	73
Tabla 3. 35. Factores de cálculo respecto a las características del suelo [34].....	75
Tabla 3. 36. Valores de la densidad aparente [34]	75
Tabla 3. 37. Eficiencia de riego por goteo [34].....	76
Tabla 3. 38. Parámetros de funcionamiento.....	83
Tabla 3. 39. Requerimientos de agua de la planta de mora.....	83
Tabla 3. 40. Parámetros cambiados para el mallado	95
Tabla 3. 41. Parámetros cambiados en la opción “Inflation”.....	97
Tabla 3. 42. Parámetros cambiados para el mallado	98
Tabla 3. 43. Número de ecuaciones utilizadas en cada método.....	101
Tabla 3. 44. Número de ecuaciones utilizadas en cada método [34]	104
Tabla 3. 45. Casos de simulación.....	104
Tabla 3. 46. Parámetros de las condiciones de frontera impuestos.....	105
Tabla 3. 47. Resultados de velocidad obtenidos de la simulación.....	114
Tabla 3. 48. Resultados de velocidad obtenidos de la simulación.....	115
Tabla 3. 49. Resultados de presión obtenidos de la simulación.....	115
Tabla 3. 50. Simulación del emisor Rain Bow adquirido en el mercado.....	116
Tabla 3. 51. Resultados de velocidad obtenidos de la simulación.....	128
Tabla 3. 52. Resultados de presión obtenidos de la simulación.....	128
Tabla 3. 53. Simulación del emisor A diseño propuesto por el autor	129
Tabla 3. 54. Resultados de velocidad obtenidos de la simulación.....	141
Tabla 3. 55. Resultados de presión obtenidos de la simulación.....	141
Tabla 3. 56. Simulación del emisor A diseño propuesto por el autor	142
Tabla 3. 57. Resultados de velocidad obtenidos de la simulación.....	154
Tabla 3. 58. Resultados de presión obtenidos de la simulación.....	154
Tabla 3. 59. Simulación del emisor C diseño propuesto por el autor	155
Tabla 3. 60. Comparación de velocidades los emisores propuestos por el autor....	156
Tabla 3. 61. Comparación de turbulencia de los emisores propuestos por el autor	158

Tabla 3. 62. Comparación de velocidades.....	158
Tabla 3. 63. Comparación de las pérdidas de energía.....	159
Tabla 3. 64. Descargas de caudal a diferentes presiones	159
Tabla 3. 65. Propiedades mecánicas del material ABSi [37].....	161
Tabla 3. 66. Propiedades térmicas del material ABSi [37].....	162
Tabla 3. 67. Disponibilidad del material ABSi [37]	162
Tabla 3. 68. Impresión 3D de emisor C seleccionado anteriormente.	163
Tabla 3. 69. Comparación de caudales.....	164
Tabla 3. 70. Valores calculados	165
Tabla 3. 71. Comparación de caudales.....	167
Tabla 3. 72. Valores calculados	168

RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto técnico tiene como finalidad realizar la fabricación y diseño de un emisor de riego agrícola, para mejorar los sistemas de riego que en la actualidad existe a la venta en el mercado local, estudiando sus ventajas y desventajas para mejorar sus condiciones de funcionamiento.

El nuevo diseño del emisor de goteo tiene como objetivo realizar un análisis de dinámica de fluidos computacional (CFD) por el método de volúmenes finitos (MVF) para mejorar el diseño de la trayectoria por donde transita el fluido que afecta directamente al funcionamiento general del emisor de goteo. La fabricación del emisor de goteo es mediante impresión 3D que en la actualidad es un método de prototipado rápido que permite la construcción de nuevos modelos.

La simulación CFD se realizó de 3 geometrías diferentes las cuales se analizaron minuciosamente para seleccionar la geometría que mejores condiciones de funcionamiento presente, por lo que se escogió la geometría que tiene una velocidad más estable a lo largo de la trayectoria de flujo y la menor cantidad de regiones de baja velocidad. Para su fabricación se debe tomar en cuenta la precisión que nos brinda la impresora 3D por tal motivo la geometría no debe tener detalles menores a 1mm.

Los resultados obtenidos mediante la simulación numérica al ser comparados con los resultados medidos tenemos un error de 14,5% del caudal de descarga a diferentes presiones por lo que se puede considerar como aceptable al tomar en cuenta que el proceso de fabricación del prototipo tiene muchas limitaciones.

SUMMARY

The purpose of this technical project is to manufacture and design an agricultural irrigation emitter to improve the irrigation systems currently available for sale in the local market, studying their advantages and disadvantages in order to improve their operating conditions.

The new drip emitter design aims to perform computational fluid dynamics (CFD) analysis by finite volume method (FVM) to improve the design of the path through which the fluid flows directly affecting the general operation of the emitter of dripping. The manufacture of the drip emitter is by means of 3D printing that at present is a method of rapid prototyping that allows the construction of new models.

The CFD simulation was performed from 3 different geometries which were analyzed in detail to select the geometry that best present operating conditions, so it was chosen the geometry that has a more stable velocity along the flow path and the smaller quantity of regions of low speed. For its manufacture must take into account the precision provided by the 3D printer therefore the geometry should not have details smaller than 1mm.

The results obtained by the numerical simulation to be compared with the measured results have a 14.5% error of the discharge flow at different pressures, reason why it can be considered acceptable when taking into account that the process of manufacture of the prototype has many Limitations.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1 TEMA

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN EMISOR DE GOTEO PARA RIEGO TECNIFICADO PARCELARIO DE CULTIVO DE MORA EN EL CANTÓN PELILEO.

1.2 ANTECEDENTES

1.2.1 Sistemas de riego en el Ecuador

Ecuador es uno de los países con mayor riqueza hídrica del mundo. Según el plan nacional de riego y drenaje 2012 – 2027, cerca de 12.5 millones de hectáreas en el Ecuador están siendo utilizadas para usos agropecuarios, de los cuales solamente 6.4 millones de hectáreas pueden ser efectivamente regadas, es decir el 51% del área total. Sin embargo, solo el 7% de la superficie de pequeños y medianos productores con menos de 20 hectáreas acceden a algún tipo de tecnología de riego. [1]

La mayor parte del consumo de agua en el Ecuador es utilizada en el riego agrícola, estimándose un uso de un 80% del consumo total; no obstante, las diferentes pérdidas provocadas en la captación, conducciones primarias secundarias y en el ámbito del cultivo hacen que las eficiencias varíen en un 15% a 25%. [1]

1.2.2 Nivel de tecnificación e innovación en los sistemas riego en el Ecuador

Riego superficial o a gravedad. Cubre el 77,8% de las áreas regadas en el país según datos del III Censo Nacional Agropecuario. La tecnología de riego a mejorando en las zonas andinas, en el riego de hortalizas, raíces y tubérculos aprovechando las pendientes y la ubicación de las fuentes de agua, las cuales conducen mediante acequias hasta cada una de las parcelas. En el 90% de casos, hay serios inconvenientes de pérdidas de agua. [2]

El principal problema es la ineficiencia del uso del agua para riego. Las malas prácticas de riego utilizadas por los campesinos provocan una sobreexplotación del recurso agua y una degradación desmedida del recurso suelo. [2]

Las pérdidas de agua ocasionadas en los canales y tuberías de los sistemas de distribución, antes de llegar a los cultivos es un problema ya que existe una importante disminución en el caudal. [1]

La eficiencia del riego se mide en función del volumen de agua efectivamente utilizada por las plantas y el volumen de agua extraído de un afluente. Del volumen total extraído del afluente una parte importante no es utilizada por las plantas. [2]

Riego tecnificado. Cubre el 22,2% del área regada según el III Censo Nacional Agropecuario, apenas el 5% en los sistemas de riego comunitario, particular y estatal. Si bien el riego presurizado en los Andes, no necesita sistemas de bombeo y podría cubrir mayores extensiones, está limitado por la excesiva parcelación de la tierra. [1]

Es necesario invertir en la aplicación de nuevas tecnologías de riego que permitan eliminar las prácticas ineficientes aplicadas en el agro nacional. [2]

Desde el punto de vista del manejo de agua, el riego tecnificado es restringido, solamente en las empresa agro exportadoras está presente. Existen pocas instalaciones en los sistemas de riego comunitario y estatal. La aspersión y el riego localizado se han desarrollado especialmente en la costa para cultivos de exportación, sin embargo, en la sierra también existen explotaciones tecnificadas para cultivos de exportación. [1] El goteo y la microaspersión son todavía restringidos en su desarrollo y están dirigidos a cultivos intensivos como mora, babaco, fresa, uvilla y algunos frutales. [2]

1.2.3 Optimización del recurso hídrico

En la actualidad la conciencia sobre la preservación de los recursos hídricos ha aumentado notablemente en nuestra sociedad. Hay mayor conciencia ya que su disponibilidad en algunas épocas del año es muy escaso por lo cual su uso de forma continua e indefinida no es posible. Esto implica un análisis para regular el uso de agua a las disponibilidades existentes. El agua debe ahorrarse, y encontrar maneras de usar en menores cantidades desarrollando metodologías para mejorar su manejo. [3]

1.3 JUSTIFICACIÓN

El recurso hídrico en la actualidad va disminuyendo desmedidamente debido a diferentes aspectos como: La deficiente administración del recurso hídrico, el mal uso del agua y el calentamiento global, estos y otros parámetros van contribuyendo para que este recurso vaya disminuyendo aceleradamente. Y en nuestro país se identifica la baja eficiencia en el uso del agua de riego. Por tal motivo es preciso implementar procesos de riego, que mejoren la productividad, protejan y mantengan la calidad del suelo evitando las pérdidas excesivas de agua.

El principal inconveniente en la utilización de los emisores de goteo está en el riesgo de obstrucción lo que en la actualidad obliga al agricultor a invertir grandes cantidades de dinero en sistemas de filtración que luego no se ven recompensadas en las ganancias al final de la producción, por lo que deben llevar un debido mantenimiento, con el objetivo de evitar pérdidas de cargas en la instalación y disminuir la eficiencia del propio sistema. Entre otras dificultades tenemos la poca uniformidad que tiene los emisores de goteo en las parcelas la cual debe ser controlada debido a que la planta sufre cuando el suelo se encharca.

El estudio del diseño de un emisor de goteo eficiente beneficiará a los agricultores ya que evitaban hacer gastos innecesarios en sistemas de filtrado lo cual les permitirá tener mayores ganancias, así como también controlar las cantidades requeridas de agua para evitar enfermedades en sus cultivos.

El diseño de nuestro emisor de goteo es factible realizar ya que se cuenta con los equipos necesarios para su fabricación y diseño entre ellos tenemos los programas computacionales, bibliografías y la tecnología requerida para su construcción, que nos permitirán desarrollar un producto con buenas características, también se cuenta con el conocimiento de los profesionales de la Universidad Técnica de Ambato de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica y los conocimientos adquiridos durante mis estudios.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

- Diseñar y fabricar un emisor de goteo para riego tecnificado parcelario de cultivo de mora de un caudal de 2-8 l/h.

1.4.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS

- Identificar los emisores de goteo que ofrece el mercado actual.
- Identificar los parámetros necesarios para el diseño de emisores de goteo.
- Diseñar el emisor de goteo con un mecanismo que permita el atrapamiento de impurezas mediante simulación numérica.
- Fabricar un emisor de goteo mediante impresión 3D.
- Realizar pruebas de funcionamiento.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1 Investigaciones previas

El problema de escasez de agua en aplicaciones agrícolas ha aumentado desmedidamente en muchas partes del mundo, con fin de ahorrar agua es necesario mejorar los sistemas de riego. [4] En el año 2014 *H. Celik et al* [5] investigaron la técnica de riego por goteo mediante CFD con el fin de obtener un método de ahorro de agua, en esta investigación validaron sus resultados mediante ecuaciones empíricas y observaron un error máximo de 8.8% entre sus simulaciones y el cálculo teórico. En el 2008 *L. Yunkai et al.* [6] Determinaron que el diseño de trayectorias de flujo debe implicar la eliminación de las regiones de baja velocidad mediante la creación de conexiones de arco suaves y mejorar la capacidad de autolimpieza mediante la optimización de los límites de paso de flujo. Por lo tanto, la propiedad de resistencia a la obstrucción se debe dar en el diseño óptimo de la trayectoria de flujo de emisor y la capacidad de autolimpieza debe ser mejorada mediante el aumento de la velocidad del flujo cerca de la pared límite de la trayectoria.

La relación entre el caudal y la presión fue simulada utilizando CFD (Dinámica de fluido computacional). Por otra parte el modelo del emisor fue fabricado con técnicas de prototipado rápido para validar experimentalmente el comportamiento del flujo. Los resultados muestran una diferencia de entre el 23-25 % entre las técnicas del CFD y los datos de prueba del experimento. Esta diferencia se considera que es debido a varias razones, incluidas las hipótesis con respecto a algunos parámetros de flujo en el análisis CFD y los defectos de fabricación de prototipos. Se mejora el rendimiento anti-obstrucción con geometrías en forma de conos para crear vórtices rápidos, lo que conduce a la deposición de las partículas de arena en la parte inferior y las esquinas, debido a la gravedad y la fuerza centrífuga. [7]

L. Yongxin et al [8]. Realizaron un modelo de amplificación de un emisor de laberinto que se fabricó con una relación de dimensión 10: 1 para verificar la distribución de presión a lo largo de la trayectoria de flujo. Tanto los resultados de los modelos y los

resultados de medición indican que la presión se reduce de forma lineal con la longitud de la trayectoria de flujo. Los resultados de los modelos de distribución de presión son concordantes con la medición de los resultados en el modelo de amplificación de la presión. Un vórtice dentro de la trayectoria de flujo puede mejorar el rendimiento anti-obstrucción de los emisores debido a un efecto de aclarado.

Adin y Sacks [9]. Recomienda realizar cambios en el diseño del emisor que incluyen los siguientes factores:

- El acortamiento y la ampliación de la vía de flujo.
- Redondeando los bordes rectos en los dientes que sobresalen en la trayectoria de flujo.
- La eliminación de los espacios donde se generan zonas muertas en la trayectoria de flujo.
- El diseño de la entrada de flujo debe actuar como una barrera para las partículas grandes.

2.2 Fundamentación teórica

2.2.1 Definición de los sistemas riego agrícola

Los sistemas de riego se definen como una infraestructura hidráulica que proporciona agua a los cultivos, es decir que son aquellas técnicas que permiten que los cultivos tengan la cantidad de agua necesaria para mejorar la producción y reducir las pérdidas de agua. En regiones de pluviosidad irregular, se ha implementado diferentes sistemas de riego para asegurar las cosechas y aumentar el rendimiento de estas. [3]

Existen tres tipos de sistemas de riego que son:

- Sistema de riego superficial
- Sistema de riego por aspersión
- Sistema de riego localizado por goteo [3]

2.2.2 Sistema de riego superficial

La distribución del agua en los cultivos para este tipo de sistema de riego depende del caudal y la pendiente del terreno, para garantizar uniformidad en el riego se aplica dos tipos de riego superficial. [3]

- **Por inundación.-** una lámina de agua ingresa desde un surco y se deja en el cultivo por un tiempo determinado, que dependerá de la porosidad del suelo y su drenaje. [3]
- **Por surcos.-** los surcos paralelos o canales, se usan para transportar el agua en aquellos cultivos que son demasiado irregulares para inundarlos. [3]

2.2.3 Sistema de riego por aspersión

Este tipo de sistemas esparce el agua pulverizada en un circuito continuo hasta que la humedad llega al nivel de las raíces de las plantas. Es una manera similar a la lluvia de aplicar el agua en los cultivos. Este sistema es más aplicado porque presenta mayores ventajas en aplicaciones para grandes extensiones de terreno. Para este tipo de riego se requiere lo siguiente: [3]

- Sistema de bombeo
- Sistemas de tubería
- Aspersores [3]

2.2.4 Sistema de riego por goteo

El alto rendimiento de un sistema de riego por goteo presenta dos factores principales. El primero el agua se sumerge en el suelo antes de que pueda evaporarse o escapar. El segundo el agua se aplica justo donde se necesita en las raíces de la planta, en lugar de rociar por todas partes. Este método minimiza el uso de agua y fertilizantes permitiendo que el agua gotee lentamente a las raíces de las plantas, ya sea en la superficie del suelo o directamente en la zona de la raíz. [10]

La filtración del agua es esencial para garantizar un buen funcionamiento de cualquier dispositivo de riego localizado. El riego por goteo reduce el contacto del agua con las hojas del cultivo, tallos y frutos. Por lo tanto, por lo tanto la aparición de enfermedades es menos frecuente cuando se utiliza este tipo de sistema. [10]

2.2.5 Principales componentes de un sistema de riego por goteo

Unidad de bombeo, cabeza de Control, líneas principales, líneas secundarias, líneas laterales, emisores o goteros, Filtros [1]

- **Unidad de bombeo**, extrae el agua del reservorio y proporciona a una presión adecuada a las diferentes líneas del sistema. [3]
- **La cabeza de control**, consta de válvulas para controlar la descarga y la presión del sistema. [3]
- **Los filtros**, se pueden incluir filtros de pantalla y filtros de arena son los que eliminan el material fino en suspensión presente en el agua.
- **Tubería principal**, es la tubería que inicia de la estación de bombeo y llega a todas las tomas del cultivo. [3]
- **Tuberías secundarias**, es la tubería que transporta el caudal del agua hacia los laterales de riego de los cultivos. [3]
- **Laterales de riego**, estas son las tuberías de último orden donde se conectan los emisores de riego. [3]

El sistema puede incluir características adicionales, tales como los tanques de depósito, filtros y dispositivos de fertilización.

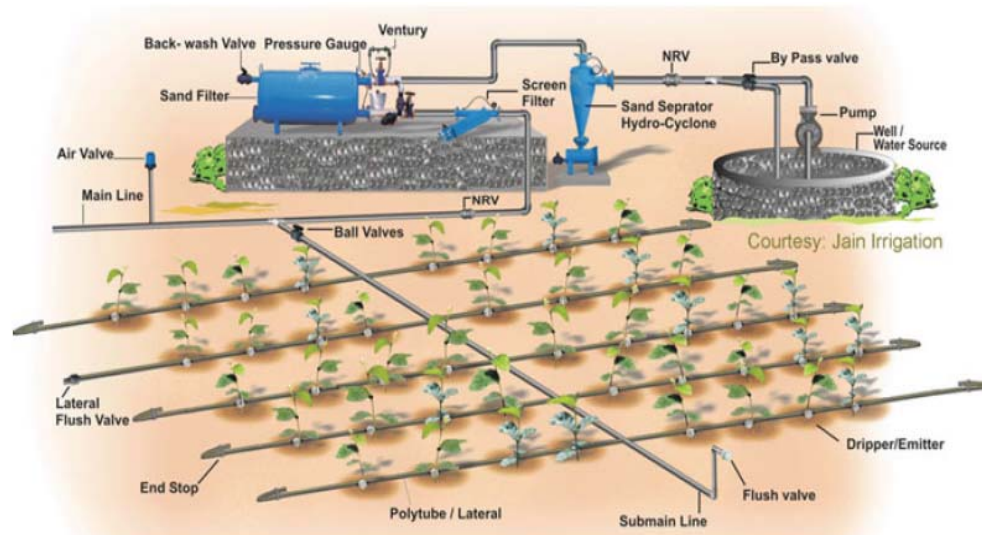


Figura 2. 1. Sistema de riego por goteo [10]

2.2.6 Tipos de riego por goteo

2.2.6.1 Riego por goteo bajo la superficie

Es un método más sofisticado y por lo tanto más caro utiliza tubos de plástico de pequeños diámetros. Estos están enterrados a una profundidad entre 20y 50 cm, la profundidad es suficiente para evitar que se interfiera con la labranza del campo. Los

tubos están equipados con emisores o perforaciones regularmente espaciadas, los tubos perforados exudan agua a lo largo de toda la longitud. Si están equipados con emisores, liberan agua solo en los puntos específicos. [11]

Un problema potencial con esta tecnología es que los orificios estrechos de los emisores podrían obstruirse por las raíces, partículas, algas o sales precipitantes. Es posible introducir una solución ácida o herbicida en los tubos ya que puede ayudar a limpiar algunos tipos de obstrucción. [11]

En este tipo de riego subterráneo el suministro de agua en los tubos de alimentación puede ser constante o intermitente. Para la uniformidad de la aplicación, debe haber algún medio de control de presión. Si las líneas son largas o la instalación es en una pendiente, no puede haber diferencias considerables en la presión hidráulica y por lo tanto en la tasa de entrega, a no ser que se utilizan emisores de presión compensada. Sin embargo, tales emisores tienden a ser caros. [11]



Figura 2. 2. Línea de riego por goteo bajo la superficie [11]

2.2.6.2 Riego por goteo superficial

Es más común y utiliza una gama muy grande de dispositivos de emisores de goteo. Las líneas laterales, se colocan en la superficie de terreno. Son comúnmente 10 a 25 mm de diámetro y son perforados o provistos de emisores de goteo. Los emisores o goteros son dispositivos utilizados para controlar la descarga de agua desde el lateral a las plantas. Por lo general, están espaciados más de 1 metro de separación, con uno o más emisores utilizados para una sola planta. [11]

Muchos diseños diferentes de emisores se han producido en los últimos años; hay cientos de diseños de emisores en el mercado. La base del diseño es la de producir un emisor que proporcione una descarga constante específica que no cambie con la variación de la presión, y no se obstruya fácilmente. [10]

La tasa de descarga está siempre afectada por cambios en la presión, pero en los emisores de presión compensada no ocurre tal situación. La frecuencia y la duración de cada periodo de riego se controlan por medio de una válvula manual o un conjunto de válvulas automáticas programables. [10]

El agua de riego tiende a extenderse hacia los lados y hacia abajo en el suelo desde el punto en el que se gotea. La fracción del volumen total de la tierra que realmente se humedece depende de la densidad de los puntos de goteo, así como la velocidad de aplicación y las propiedades internas de dispersión de agua en el suelo. El volumen de enraizamiento activo, es por lo general menos de la mitad de lo que sería si todo el suelo se humedeciera uniformemente. [11]

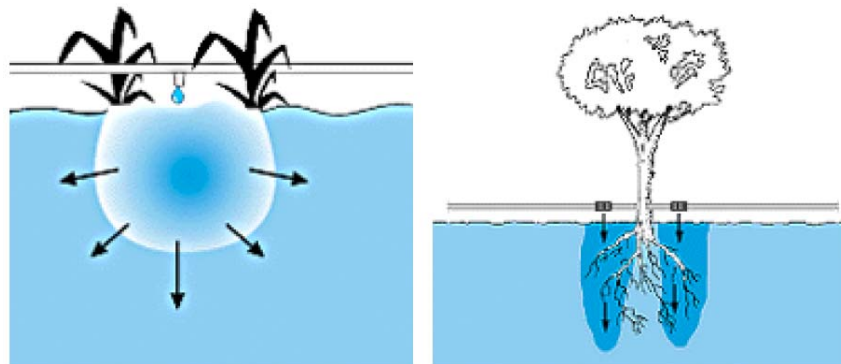


Figura 2. 3. Patrones de humedad del suelo bajo riego por goteo [11]

2.2.7 Emisores de goteo para riego agrícola

El emisor de goteo es un accesorio importante en la agricultura el uso de este tipo de accesorios es fundamental en las regiones donde el suministro de agua es escaso y las precipitaciones son esporádicas. La función de este componente es disipar la presión para entregar el agua a una velocidad constante mediante la caída de presión en el interior del accesorio. Con caudales inferiores a 12 l/h Las formas y modelos pueden variar de acuerdo a las dimensiones y al fabricante. [10]

2.2.8 Tipos de emisores de goteo para riego

Los emisores de riego por goteo se clasifican principalmente en dos categorías: los de presión compensativa y no compensativa.

- **Emisores de presión compensativa (PC).**- Están diseñados para descargar el agua a una velocidad uniforme bajo un amplio rango de presiones. Teóricamente daría el flujo uniforme bajo condiciones variables de presión e irregulares del terreno. [10]
- **Emisores de presión no compensativa (NPC).**- En la salida de estos emisores el flujo varia si existen cambios de altura o presión. Estos emisores de goteo son los más utilizados donde el terreno es plano y nivelado sin cambios de elevación y la presión constante. Los emisores de presión no compensativa utilizan un diseño de laberinto interna para reducir la velocidad en el flujo de agua a través de una distancia muy corta. [10]

2.2.8.1 Principales tipos de emisores de goteo

- **Emisor de ruta de flujo largo.**- Este tipo de emisores consisten en un pequeño diámetro y gran longitud esta ruta reduce la presión del agua y se establece un flujo más uniforme. Los emisores de ruta tienden a ser bastante grandes debido a la necesidad de adaptarse a lo largo del tubo. [11]



Figura 2. 4. Emisor de ruta de flujo largo [11]

- **Emisor de ruta de flujo corto.**- Al igual que el emisor de flujo largo este consiste de una vía corta y operan con bajas presiones. La principal desventaja es la obstrucción y la mala uniformidad de distribución de agua en comparación con otros tipos de emisor. [11]



Figura 2. 5. Emisor de ruta de flujo cortó [11]

- **Emisores de flujo turbulento.-** El agua circula a través de una ruta con curvas cerradas y obstáculos. Estos giros y obstáculos generan una turbulencia en el agua, lo que reduce el flujo y la presión. Mediante el uso de la trayectoria de laberintos los pasos de agua de emisor pueden tener una longitud más corta y el diámetro más grande. [11]



Figura 2. 6. Emisor de ruta de flujo turbulento [11]

- **Emisores Vortex.-** El agua corre a través de un vórtice, es un torbellino para reducir el flujo y la presión que hace girar el agua alrededor del orificio de salida. Los emisores de vórtices son de tamaño pequeño y de bajo costo, sin embargo se obstruyen fácilmente. [11]



Figura 2. 7. Emisor vortex [11]

- **Emisor de diafragma.-** Un diafragma flexible se usa para reducir el flujo y la presión. Todos los modelos utilizan algún tipo de pieza flexible que se mueve o se extiende para restringir o aumentar el flujo de agua. Es más eficiente que los emisores anteriores, pero el desgaste es en poco tiempo. [11]



Figura 2. 8. Emisor de diafragma [11]

- **Emisor de flujo ajustable.-** Emisores de flujo ajustables tienen una tasa de flujo ajustable. Normalmente, el emisor tiene un dial que se activa para cambiar la velocidad de flujo. Los emisores de flujo ajustables tienden a variar en gran medida el flujo y tienen poca compensación de la presión. [11]



Figura 2. 9. Emisor de ruta de flujo ajustable [11]

2.2.9 Ventajas y desventajas del riego por goteo

Ventajas

- Recomendadas para cultivos en línea.
- Se obtiene alta uniformidad de riego y una elevada eficiencia de aplicación.
- Ahorro de agua entre un 50% a 60 % respecto a los sistemas tradicionales.
- Uso de terrenos con topografía accidentada, suelos pedregosos y baja infiltración.
- Acelera el inicio de la producción del cultivo.
- Caudal variable según la presión.
- Reduce los problemas de maleza, debido a la menor superficie húmeda.
- Aumento en la calidad y cantidad de las cosechas.
- No impide labores agrícolas [3]

Desventajas

- El principal inconveniente es el uso de aguas calizas ya que obstruyen los puntos de salida de agua.
- Obstrucción provocada por arcillas, y partículas del suelo.
- Inversión inicial elevada.
- Tratamiento de filtración de agua.
- Obstrucción de los puntos de salida del agua por solutos en suspensión.
- Daños producidos por los animales.
- Adquisición de repuestos.
- Se necesita de personal calificado para su instalación.
- Necesita de presión de agua para su funcionamiento.
- Altos costos de mantenimiento. [3]

2.2.10 Obstrucción de los emisores de riego por goteo causados por el agua

2.2.10.1 Obstrucción química

En *J. Conde* [12] hace referencia a *Abbott* (1988) donde dice que los emisores de riego por goteo son los más susceptibles a disminuir su caudal y pueden terminar colapsando definitivamente. Los precipitados químicos se generan cuando se modifican las cualidades del agua de riego como: temperatura, presión, PH y cuando el agua evapora en el interior de los emisores una vez terminado el riego. [12]

Los precipitados de calcio se generan en función de la acides del agua de riego; cuando el agua no contienen mucha acides el calcio se precipita en los emisores provocando la disminución del diámetro de salida de los emisores. [12]

Los precipitados de hierro, azufre, y manganeso se forman al ponerse en contacto con la atmosfera, ya que se precipitan al oxidarse. Este tipo de oxidación se puede evitar mediante es uso de agitadores o eyectores de aire antes de entrar en los filtros. De esta forma se evita que los precipitados se formen antes que pase el agua por los filtros. [12]

Las precipitaciones de los fertilizantes se pueden producir por la reacción entre elementos químicos de productos agrícolas o por reacciones con elementos presentes en el agua. [12]

2.2.10.2 Obstrucciones físicas

Este tipo de obstrucciones se generan por la sedimentación de partículas orgánicas o inorgánicas que están en suspensión en el agua, este tipo de partículas pueden estar en el interior o en el exterior del emisor ya que pueden acceder fácilmente por la salida del emisor. Se puede prevenir usando un buen sistema de filtrado y tipos especial de emisores para evitar el ingreso de partículas del exterior. [12]

Nakayama, y Bucks [13] proponen una clasificación la calidad del agua con el potencial de obstrucción de goteros.

Tabla 2. 1. Calidad de agua en relación con la obstrucción de goteros [13]

Factores de obstrucción	Peligro de obstrucción		
	Bajo	Medio	Alto
Físico			
Solios en suspensión	<50	50 - 100	>100
Químicos			
PH	<7	7 - 8	>8
Solidos disueltos, mg/l.	<500	500 - 2000	>2000
Manganeso, mg/l.	<0,1	0,1 – 1,5	>1,5
Hierro total, mg/l	<0,2	0,2 – 1,5	>1,5
H ₂ S, mg/l.	<0,2	0.2 – 2,0	>2,0
Población biológica; N° bacterias/ml.	<10.000	10.000 – 50.000	>50.000

2.2.10.3 Obstrucciones orgánicas

Este tipo de obstrucciones se producen por el crecimiento de organismos dentro de los emisores. Los problemas más críticos de obstrucción son causados por agentes químicos y bilógicos (Holzapfel, 2001). [12]

2.2.11 Relación suelo – agua – planta

2.2.11.1 Características físicas del suelo y su relación con la planta y el riego

La planta requiere una cantidad de agua en el suelo para su correcto desarrollo, la cantidad de agua está determinada por las propiedades físicas de este; principalmente por la textura, estructura y porosidad. [12]

Textura: La cantidad relativa de arena, arcilla y limo, es un factor determinante en la velocidad de infiltración, la retención, y la forma de distribución del agua, por esta razón es que en los suelos arenosos el agua forma un bulbo de forma alargada y en suelos barrosos tienen una forma achatada. [12]

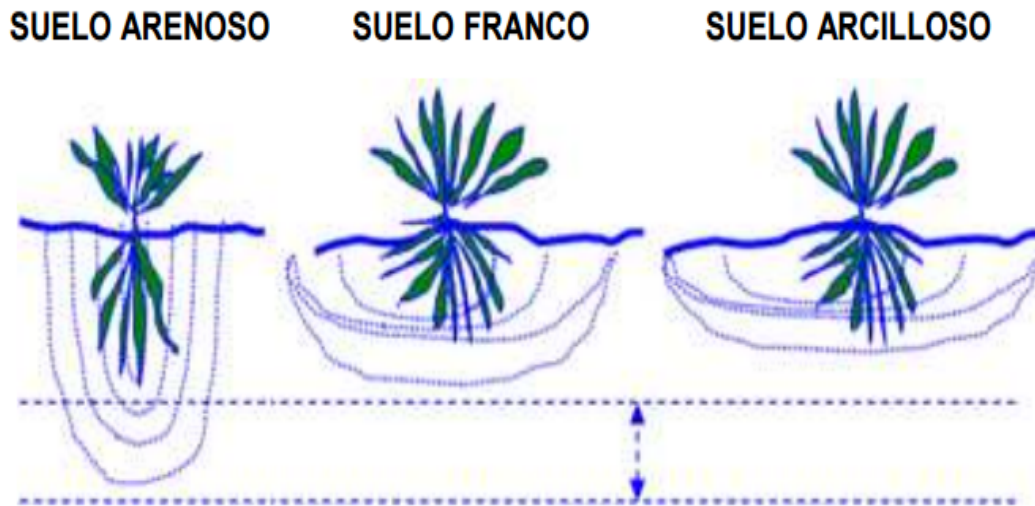


Figura 2. 10. Forma del bulbo respecto a la textura del suelo [12]

Estructura: Se lo define como el arreglo geométrico de las partículas del suelo. La estructura está ligada principalmente a los componentes del suelo arena, limo, y arcilla y otras materias que actúan como cementantes. Y tiene influencia directa e indirecta en crecimiento de las raíces. [12]

Porosidad: Hay dos clases de poros determinados por su dimensión; los grandes o “no capilares”, que no retienen el agua fuertemente por capilaridad, y los poros pequeños “capilares” que si la retienen. Los poros grandes no capilares están llenos de aire y atraen el agua después del riego. Los poros capilares contienen el agua después de que la mayor parte del desagüe se haya efectuado. [12]

2.2.11.2 Movimiento del agua en el suelo

El comportamiento del agua en el suelo depende, de las propiedades particulares y las fuerzas que actúan sobre ella. Estas a su vez dependen, de la geometría de los poros. [12]

Infiltración: penetración del agua en el suelo

Percolación: Movimiento del agua a través del suelo hacia niveles inferiores.

Permeabilidad: es la cualidad del suelo que relaciona con la transmisión del agua o del aire a todas sus partes de la masa. [12]

2.2.11.3 Estados de humedad del suelo

- **Suelo saturado:** Cuando el agua está ocupando todos los sitios porosos del suelo
- **Capacidad de campo:** Cuando el agua existente esta retenida en los poros capilares del suelo, a consecuencia de la evaporación del agua de las capas superiores.
- **Punto de marchites:** Cuando el agua existente en el suelo no es aprovechada por la planta. [14]

2.2.12 Relación planta – agua – clima

Esta relación es muy importante ya que nos permite estimar la cantidad de agua que necesita un cultivo. Esta relación también es conocida como evapotranspiración, y está en función de factores meteorológicos como: temperatura, horas de luz, humedad relativa, nubosidad, vientos y el ciclo vegetativo del cultivo. [12]

El cultivo inmediatamente después de un riego, está en capacidad de evaporar tanta agua como sea posible dependiendo de la cantidad de energía disponible. En este caso se obtiene un valor de evapotranspiración potencial. El proceso está limitado a factores climáticos. [12]

2.2.13 Parámetros de evaluación del riego por goteo

La distribución de agua se puede medir mediante un procedimiento de muestreo y la estimación basada en el análisis estadístico para cada zona. A continuación se enumeran algunos parámetros estadísticos que se utilizan con mayor frecuencia en la evaluación de sistemas de micro riego. Los cálculos se proceden a realizar mediante la metodología propuesta por Keller y Bliesner (1990) y Kang y Nishiyama (1996). [14] Indicadores de desempeño:

El caudal de descarga promedio de emisor, $q_a = (m^3/s)$

$$q_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i \quad [Ec. 2.2.1]$$

Donde:

q_i , es el caudal del emisor i (m^3/s)

n , es el número total de emisores.

Desviación estándar del caudal del emisor S_q .

$$S_q = \left\{ \frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n q_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n q_i \right)^2 \right] \right\}^{1/2} \quad [Ec. 2.2.2]$$

Coefficiente de variación del caudal del emisor (C_v), es un término estadístico que evalúa la desviación estándar. Los fabricantes por lo general publican este término para cada uno de sus productos. [14]

$$C_v = \frac{S_q}{q_a} \quad [Ec. 2.2.3]$$

Coefficiente de uniformidad de Christiansen (UC), La uniformidad del agua es un factor de diseño importante que requiere mucha atención. Fue desarrollado para medir la uniformidad de sistemas de rociadores y también se ha aplicado a otras formas de riego. [14]

$$UC = 100 \left(1 - \frac{1}{nq_a} \sum_{i=1}^n |q_i - q_a| \right) \quad [Ec. 2.2.4]$$

El (C_v) y el (UC) son dos expresiones de uniformidad comúnmente utilizadas. La no uniformidad del flujo en cada uno de los emisores es causada por la variación de la fabricación. [14]

Sistema de clasificación uniforme de micro irrigación basado en la variación del coeficiente de fabricación (C_v). [14]

Tabla 2. 2. Sistema de uniformidad basado en el coeficiente de variación (C_V) [14]

Tipo de emisor	Coeficiente de variación de caudal del emisor (C_V) Rango	Clasificación
Fuente de punto	<0.05	Excelente
	0.05 – 0.07	Promedio
	0.07 – 0.11	Marginal
	0.11 – 0.15	Pobre
	> 0.15	Inaceptable
Fuente de línea	<0.10	Bueno
	0.10 – 0.20	Promedio
	> 0.20	Marginal a inaceptable

Tabla 2. 3. Coeficiente de uniformidad (CU) [14]

Coeficiente de uniformidad, UC (%)	Clasificación
Sobre 90%	Excelente
90% - 80%	Bueno
80% - 70%	Justo
70% - 60%	Pobre
Menos de 60%	Inaceptable

2.2.14 Velocidad de flujo del emisor en relación con la cabeza de presión

Un método numérico para medir las características de flujo de presión para un emisor dado se basa en la velocidad del flujo frente a la curva de presión (Q-H) reemplazando en una ecuación de la siguiente manera: [14]

$$Q = CH^x \quad [Ec. 2.2.5]$$

Donde:

Q, velocidad de flujo del emisor, (m^3/s)

C, coeficiente del emisor, indica los efectos de descarga real y rectifican a las unidades correctas, 1/ segundo

H, cabeza de presión en el lateral, (m)

X, el exponente x indica el tipo de régimen de flujo. Es una medida de sensibilidad, sin unidades.

El exponente x indica el régimen de flujo y el tipo de emisor, la velocidad de flujo cambia en relación a la presión. El valor del exponente x oscila entre 0,0 y 1,0. Un valor más alto para x indica una mayor sensibilidad de velocidad de flujo y cambios de presión, para los emisores auto compensados debería ser menor que 0.1 aproximadamente debería ser 0. El exponente de descarga debe acercarse a 0,5 para emisores de presión no compensada los valores del exponente para emisores de varios regímenes de flujos se clasifican en la siguiente tabla. Los emisores con exponentes menores que 0.5 son llamados de emisores de presión compensada. [14]

Tabla 2. 4. Valores del exponente para emisores de varios regímenes de flujo [14]

Régimen de flujo	Exponente x	Tipo de emisor
Trayectoria de flujo variable	0.0	Totalmente presión compensada
	0.1	
	0.2	
	0.3	
Flujo en torbellino	0.4	Parcialmente presión compensada
Flujo totalmente turbulento	0.5	Presión no compensada
Flujo mayormente turbulento	0.6	
	0.7	
Flujo mayormente laminar	0.8	
	0.9	
Flujo totalmente laminar	1.0	Presión no compensada totalmente

2.2.15 Pérdidas de carga

Numero de Reynolds.- El comportamiento de un fluido, respecto a las pérdidas de energía, dependen de que el flujo sea laminar o turbulento. El tipo de flujo en un tubo redondo depende de cuatro variable: la densidad del fluido ρ , su viscosidad dinámica η , el diámetro del tubo D , y la velocidad promedio v . Osborne Reynolds fue el primero en pronosticar si el flujo es laminar o turbulento. La siguiente ecuación muestra la definición básica del número de Reynolds. [15]

$$N_R = \frac{vD\rho}{\eta} = \frac{vD}{\mu} \quad [Ec. 2.2.6]$$

Estas ecuaciones son equivalentes debido a que la viscosidad cinemática μ es igual a la viscosidad dinámica η dividido para la densidad ρ .

$$\mu = \frac{\eta}{\rho} \quad [Ec. 2.2.7]$$

Si $N_R < 2000$, el flujo es laminar

Si $N_R > 4000$, el flujo es turbulento

Entre 2000 y 4000 es imposible determinar el flujo existente; por tanto se le denomina región crítica.

Ecuación de Darcy.- h_l se define como la pérdida de energía en un sistema. Una componente de la pérdida de energía es la fricción. La fricción es proporcional a la carga de velocidad del flujo y a la relación de la longitud al diámetro de la corriente.

[15]

$$h_l = f \left(\frac{L}{D} \right) \left(\frac{v^2}{2g} \right) \quad [Ec. 2.2.8]$$

Donde

h_l = Pérdida de energía debido a la fricción.

L= longitud de la corriente del flujo

D= diámetro de la tubería

v = velocidad promedio del flujo

f = factor de fricción

Perdida por fricción en flujo laminar

Cuando existe flujo laminar el flujo parece moverse en capas, una sobre otra. Debido a la viscosidad del fluido, se crea un esfuerzo cortante entre sus capas. Se pierde energía del flujo por la acción de las fuerzas de fricción que hay que vencer, y que son producidas por el esfuerzo cortante. Por lo cual se puede relacionar con la ecuación de Hagen-Poiseuille: [15]

$$h_l = \frac{32\eta Lv}{\gamma D^2} \quad [Ec. 2.2.9]$$

Si igualamos las dos expresiones podemos despejar el factor de fricción en la que obtenemos lo siguiente:

$$f = \frac{64}{Re} \quad [Ec. 2.2.10]$$

Pérdidas por fricción en flujo turbulento

Cuando hay flujo turbulento en tuberías es más conveniente usar la ecuación de Darcy para calcular la pérdida de energía debido a la fricción. Las pruebas han demostrado que el número f adimensional depende de otras dos cantidades adimensionales, el número de Reynolds y la rugosidad relativa de la tubería. La rugosidad relativa es la relación del diámetro de la tubería D a la rugosidad promedio de su pared (ϵ). La condición de la superficie de la tubería depende sobre todo del material del que está hecho el tubo y el método de fabricación. En la siguiente tabla se ha determina el valor de (ϵ) de rugosidad promedio de la pared de tuberías y tubos existentes en el mercado. [15]

Tabla 2. 5. Rugosidad promedio de la pared de tuberías existentes en el mercado [15]

Material	Rugosidad en (m)	Rugosidad (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}

Diagrama de moody

El factor de fricción emplea el diagrama de Moody. Este diagrama muestra la gráfica del factor de fricción f versus el número de Reynolds N_R , que consta de curvas paramétricas relacionadas con la rugosidad D/ϵ . Podemos hacer algunas observaciones importantes acerca de las curvas. [15]

- Para un flujo con número de Reynolds dado, conforme aumenta la rugosidad relativa D/ϵ , el factor de fricción disminuye.
- Para una rugosidad relativa D/ϵ , el factor de fricción f disminuye con el aumento del número de Reynolds, hasta que alcanza la zona de turbulencia completa.

- Dentro de la zona de turbulencia completa, el número de Reynolds no tiene ningún efecto sobre el factor de fricción.
- Conforme se incrementa la rugosidad relativa D/ϵ también se eleva el valor del número de Reynolds donde comienza la zona de turbulencia completa. [8]

La pérdida de carga debido a la inserción de emisores se calcula con siguiente fórmula (Giles et al, 1995). [14]

$$h_f = k \left(\frac{v^2}{2g} \right) \quad [Ec. 2.2.11]$$

Dónde:

h_f : es la pérdida de carga debido a la inserción del emisor [m]

k : es el coeficiente

v : es la velocidad del agua [$m s^{-1}$],

g : es la aceleración debida a la gravedad 9,81 [$m s^{-2}$].

El coeficiente k depende de la relación de los diámetros de las tuberías y de la velocidad de flujo (Anexo 2):

$$\frac{D_1}{D_2} \quad [Ec. 2.2.12]$$

Dónde:

D_1 : es el diámetro interno del tubo (m),

D_2 : es el diámetro interno debido al emisor (m).

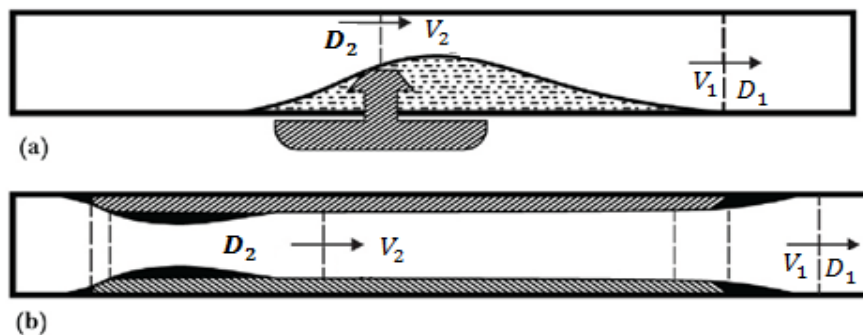


Figura 2. 11. Vista esquemática de flujo (a) en línea (b) integrado en la línea de emisores [14]

Pérdida total de carga de los n emisores.

$$\sum h = h_f + h_t \quad [Ec. 2.2.13]$$

2.2.16 Dinámica de fluidos computacional (CFD)

El movimiento de los fluidos en ciertos pasajes y en general en formas complejas, desafía el análisis directo por medio de las ecuaciones que lo gobiernan. Las ecuaciones diferenciales parciales que gobiernan la mecánica de fluidos y la transferencia de calor incluyen la ecuación de la continuidad (conservación de la cantidad de movimiento) la ecuación de Navier-Stokes (conservación del momento o segunda ley de Newton) y las ecuaciones de energía (conservación de la energía o primera ley de la termodinámica). Son ecuaciones complejas y no lineales, lo que hace imposible una solución analítica general, excepto en casos que se puede reducir las ecuaciones con el propósito de llegar a la solución. [15]

Para obtener una exactitud adecuada se necesita que los elementos sean muy pequeños, de modo que el elemento finito contenga literalmente millones de elementos. El cómputo de alta velocidad y los códigos eficientes de programación hacen que este análisis sea práctico. Los resultados incluyen perfiles de velocidad del flujo, presiones, temperaturas y líneas de corriente que se representan en forma gráfica, por lo general en colores que ayudan al usuario a interpretar los resultados. [15]

El uso del software de CFD proporciona una disminución notable del tiempo necesario para desarrollar un producto nuevo, la elaboración virtual de prototipos de los componentes y la reducción del número de modelos de prueba que se requieren para estudiar un diseño antes de llevarlo a la producción. [16]

2.2.17 Método de volúmenes finitos

El método de los volúmenes finitos emplea directamente las ecuaciones de la conservación de masa, movimiento y energía en su forma integral. Este método discretiza las ecuaciones en cada uno de los poliedros del dominio, en los que previamente se realizan una discretización espacial.

La principal ventaja del método de los volúmenes finitos es que la discretización espacial se lleva a cabo directamente en el espacio físico del problema. Por lo tanto no hay problema con la transformación de coordenadas, este método es más flexible; por este motivo, el método de los volúmenes finitos es el más empleado para la resolución

de flujos con geometrías complejas. [16] Entre sus desventajas está la dificultad de obtener esquemas de alto orden, sobre todo en 3D, debido a que requieren tres niveles de aproximación: interpolación, diferenciación e integración. Es el método utilizado por la mayoría de software CFD (ANSYS FLUENT, STAR CCM+ & OPENFOAM entre otros). [17]

Las ecuaciones que gobiernan el comportamiento de un fluido son una representación matemática de las leyes de la conservación de la física:

- La masa de un fluido se conserva
- El índice de rapidez en variación de la cantidad de movimiento es igual a la suma de fuerzas en una partícula del fluido ($F=m \cdot a$)
- La energía se conserva [18]

Esto nos lleva a otra caracterización importante de este método que es la obtención de soluciones de las ecuaciones. Es importante resaltar que bajo unas ciertas condiciones, el método de los volúmenes finitos es equivalente al método de las diferencias finitas. Por todo esto, hoy en día, es el método más popular. [16]

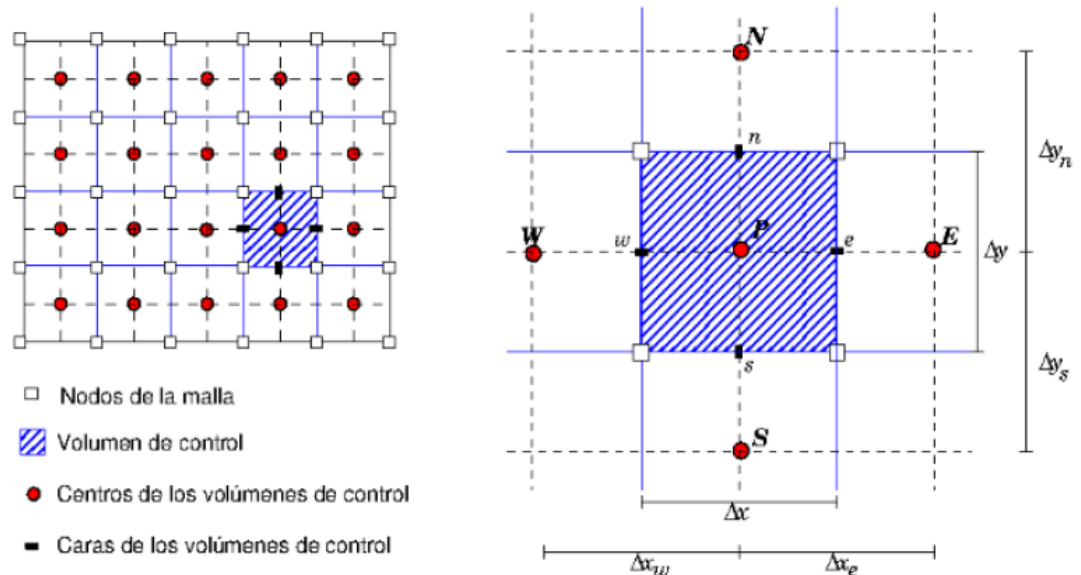


Figura 2. 12. Discretización de dominio usando volúmenes finitos [16]

2.2.17.1 Conservación de la materia

Lo más importante en la derivación de la ecuación de la conservación de la materia es realizar un balance másico del fluido en un elemento designado. Esto implica que a lo largo de todo el fluido la masa no se destruye ni genera ningún punto. [18]

$$\frac{d\rho}{dt} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) \quad [Ec. 2.2.14]$$

Dónde: ρ es la densidad del fluido \vec{v} la velocidad del fluido en un punto (x, y, z) del espacio en un instante de tiempo t . El primer término expresa la variación de la masa por unidad de volumen y unidad de tiempo, y el segundo término representa variación de la velocidad de entrada y salida de la materia en el sistema.

2.2.17.2 Conservación de la cantidad de movimiento

Al aplicar la segunda ley de Newton en un elemento escogido, se dice que la suma de las fuerzas en dicho elemento son igual al índice de aumento del movimiento (masa x aceleración). [18]

$$F_x = ma_x \quad [Ec. 2.2.15]$$

2.2.17.3 Conservación de la energía

Esta ecuación no influye en nuestro estudio, puesto que no se ve afectada la energía térmica. Pero cabe destacar que la energía de un fluido se define como la suma de la energía interna térmica, la energía cinética, y la energía potencial acumulada por la acción de la gravedad. [18]

2.2.17.4 Ecuación Navier-Stokes

La ley de la viscosidad para fluidos no compresibles en tres dimensiones incluye solo una constante de proporción: la viscosidad dinámica μ , que relaciona esfuerzos con deformaciones lineales. [18]

$$\frac{d(\rho u)}{dt} + \nabla \cdot (\rho u U) = -\frac{dp}{dx} + \mu \nabla^2 u + \rho f_x \quad [Ec. 2.2.16]$$

$$\frac{d(\rho v)}{dt} + \nabla \cdot (\rho v U) = -\frac{dp}{dy} + \mu \nabla^2 v + \rho f_y \quad [Ec. 2.2.17]$$

$$\frac{d(\rho w)}{dt} + \nabla \cdot (\rho w U) = -\frac{dp}{dz} + \mu \nabla^2 w + \rho f_z \quad [Ec. 2.2.18]$$

Donde:

U = Velocidad de flujo

u, v, w = componentes del vector velocidad

x, y, z = ejes

ρ = densidad

μ = viscosidad dinámica

$p: f_x f_y f_z$ = presión

∇ : Variación de la velocidad de entra y salida de la materia en el sistema.

2.2.18 La turbulencia y su asunción en las ecuaciones de Navier-Stokes. Las ecuaciones de RANS (Reinolds Averaged Navier-Stokes).

Las ecuaciones detalladas anteriormente son suficientes para describir un fluido incompresible y laminar, y siendo una descripción para la continuidad, también son no-lineales e inestables. De manera natural, esta inestabilidad forma el fenómeno de turbulencia. Por esta razón se hace imposible resolver estas ecuaciones analíticamente por lo que requieren formulaciones de métodos numéricos para su solución. Se aplica en flujo estacionario. [18]

Las fluctuaciones turbulentas tienen un carácter tridimensional, también se puede apreciar formaciones de estructuras rotatorias, arremolinadas, de los llamados eddies con diferentes tamaños. La medida de velocidad en un punto se representa en la siguiente figura. [18]

2.2.19 Softwares utilizados en el análisis de dinámica de fluidos computacional CDF

En primera instancia podemos clasificar los softwares de elementos finitos de acuerdo a donde van hacer aplicados. Desde este punto de vista podemos encontrar programas de uso básico y especializado. Entre estos tenemos los softwares comerciales y los programas de licencia pública general (GPL). Este tipo de programas permiten el análisis de problemas de mecánica estructural, transferencia de calor, electromagnetismo, y en algunos casos para modelado de dinámica de fluidos. [19]

2.2.19.1 Programas de licencia publica general (GPL) para dinámica de fluidos computacional (CFD)

- **OpenFoam**, contiene algunos elementos para el análisis estructural lineal estático y térmico, es un software especializado para el modelado de problemas de dinámica de fluidos con volúmenes finitos. Cuenta con un interfaz para el usuario. Pero está enfocado en ser una librería para programación de problemas de CFD en lenguaje C++. [19]
- **OpenFlow**, Software para análisis CFD con volúmenes finitos desarrollado por Alexandre Chatelain. [19]
- **SLFCFD**, desarrollado en ANSI C y se especializa en el análisis de problemas por CFD. [19]
- **Impact**, es un programa desarrollado en JAVA, especializado en el análisis de problemas de dinámica explícita. [19]

2.2.19.2 Programas comerciales para dinámica de fluidos computacional (CFD)

- **ADINA**, es una compañía fundada en 1986 y cuyo nombre viene de (Automatic Dynamic Incremental Nonlinear Análisis), se especializa en análisis por elementos finitos para sistemas lineales y no lineales como estructuras, fluidos, flujos, transferencia de calor y multifísica en solo sistema. [20]
- **ALGOR**, es una solución para aplicaciones de ingeniería, como función principal incluye capacidades de análisis CAE para esfuerzos estáticos y simulación de eventos mecánicos, como análisis dinámicos, transferencia de calor, fluidos y análisis electrostático. [20]
- **ALTAIR HYPERWORKS**, es un programa desarrollado por Altair Engineering, su filosofía está basada en una arquitectura abierta donde se pueda diseñar, simular, optimizar, definir flujos de trabajo y datos para el procesamiento. Este programa se puede utilizar en CAE, CFD, comportamiento de materiales, esfuerzos, fatiga, choques e impactos, durabilidad, manufactura. [20]
- **ANSYS**, es un programa multifísico con un ecosistema de programas CAE para diseño, análisis y simulación de partes por elementos finitos FEA, incluyen las fases de preparación, ejecución y post procesado. Puede resolver

problemas físicos sometidos a esfuerzos térmicos, fluidos, vibración entre otros. [20]

Ansys Workbench, es donde se crean los proyectos de análisis CAE en diferentes disciplinas.

Ansys CFX, es un programa de análisis y simulación CFD de propósito general, usadas para problemas de fluidos.

Fluent, es un programa CFD o de análisis de fluidos para una gama de aplicaciones en modelado y simulación de flujos que incluyen turbulencia, reacciones o fenómenos térmicos.

Ansys Mechanical, permite resolver problemas de diseño mecánico como elementos estructurales lineales, no lineales y análisis dinámico. [20]

2.2.20 Procedimiento para el análisis de dinámica de fluidos computacional

ANSYS Fluent CFD

Entender el movimiento de líquidos o gases es importante en las ramas de la ingeniería. El rápido desarrollo de la capacidad de procesamiento de la computadora y desarrollo de software nos permite tener soluciones y análisis de problemas de flujo. Además el uso de interfaces comunes y procesos de flujo de trabajo hacen la dinámica de fluidos accesible a los diseñadores y analistas. [21]

La creación de la geometría, mallado, definición física y post-procesamiento son los aspectos importantes en proceso de análisis CFD:

2.2.20.1 Geometría

Los softwares CFD cuentan con herramientas de diseño geométrico específicamente para la creación y modificación de la geometría para el análisis. Estos programas cuentan con sistemas avanzados que proporcionan un vínculo directo y bidireccional con los modelos geométricos creados en una amplia variedad de paquetes CAD. [21]

- Geometría 2D y 3D, el método de elementos finitos y volúmenes finitos parten de una geometría en la que se investiga el comportamiento de una función o variable.

- La geometría generada en los programas CAD son, el flujo del fluido que circula en una determinada trayectoria.
- El análisis CFD involucra: campos de velocidad (Vectorial), presiones, temperatura, concentraciones (Escalares) de una geometría ocupada por un fluido.
- Se modela el fluido, no la pared por donde recorre el fluido. [21]

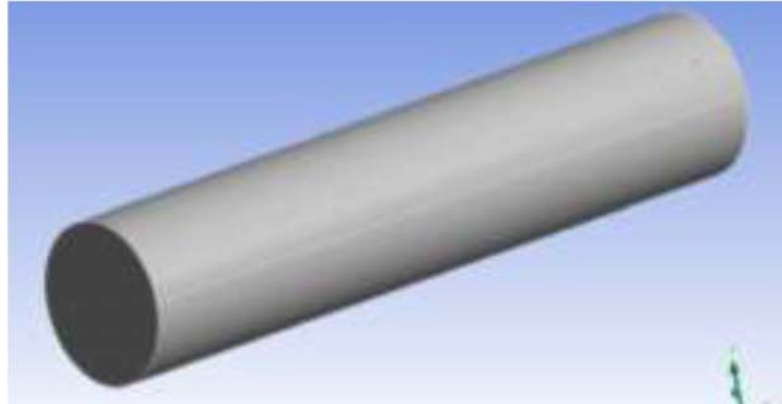


Figura 2. 13. Flujo a lo largo de un tubo circular [22]

2.2.20.2 Mallado

Para proporcionar resultados confiables, CFD requiere tecnología de mallado bajo, medio y superior, el tamaño de mallado es importante para obtener un buen resultado, por tal razón se necesita que el refinamiento de la malla sea el idóneo en el área de estudio dependiendo de la precisión y la capacidad computacional del computador. [21]

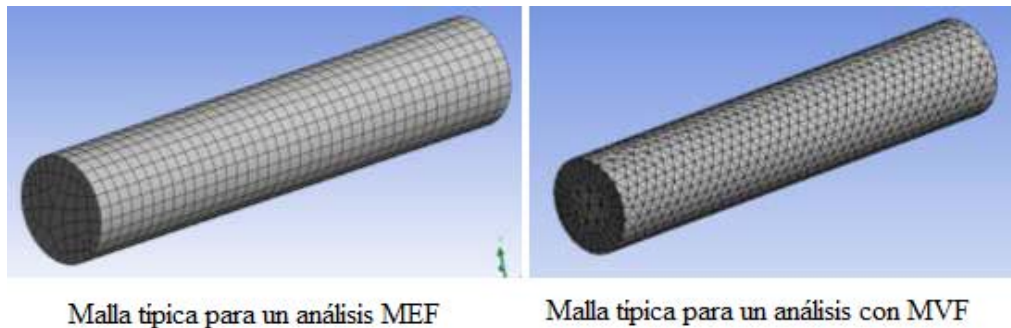


Figura 2. 14. Discretización o mallado [22]

2.2.20.2.1 Clasificación de las mallas

Malla estructurada

Las mallas estructuradas están formadas por un conjunto de nodos o volúmenes de control que pueden ser identificadas de una forma única mediante un grupo de índices ordenados (i, j, k) en 3D o (i, j) en 2D, su mayor desventaja es que solo puede ser utilizadas en dominios con geometrías simples y muchas veces acumulan puntos en regiones que no son de interés. [17]

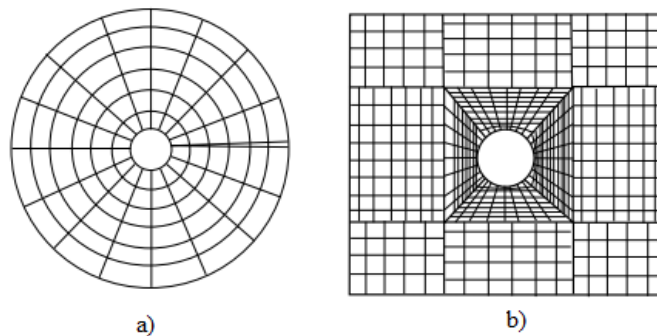


Figura 2. 15. a). Malla estructurada b), Malla estructurada multibloque [17]

Malla no estructurada

Para geometrías muy complejas, las mallas más flexibles son aquellas que se pueden adaptar de forma arbitraria al dominio, los métodos de volúmenes finitos y elementos finitos son los que mejor se adaptan a una malla no estructurada.

Las mallas se construyen utilizando triángulos y cuadriláteros en 2D y tetraedros o hexaedros en 3D. [17]

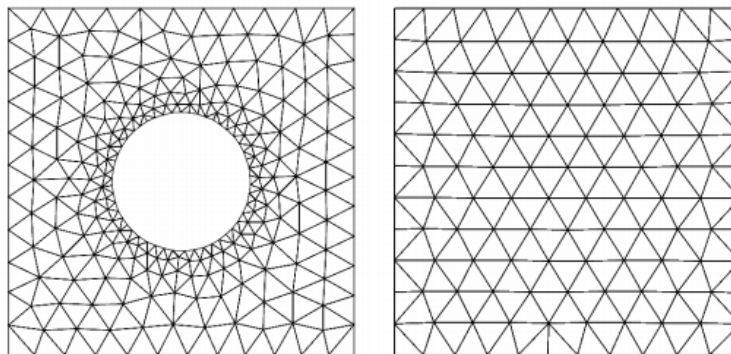


Figura 2. 16. Malla no estructurada [17]

2.2.20.2.2 Tipos de elementos

Existen 3 tipos de elementos utilizados para el proceso de mallado, los cuales son utilizados de acuerdo con la clase de problemas que va hacer resueltos: [23]

- a) Elementos unidimensionales
- b) Elementos bidimensionales
- c) Elementos tridimensionales

a). Elementos Unidimensionales: Llamados también elementos línea, los elementos que podemos encontrar en este grupo son: [24]

- **Elementos Truss:** Este tipo de elementos consta de dos nodos, uno en cada extremo con tres grados de libertad por nodo. Estos elementos soportan cargas axiales de tracción o compresión. [24]
- **Elementos Beam:** Estos elementos están formados por dos nodos con seis grados de libertad. Estos elementos pueden soportar carga axial de tracción y compresión, como transversal de flexión. [24]

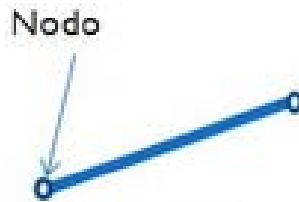


Figura 2. 17. Elemento unidimensional [25]

b). Elementos Bidimensionales: Conocidos como elementos planos o superficiales, estos pueden ser triángulos con tres nodos o cuadriláteros con cuatro nodos, entre ellos tenemos. [24]

- **Elementos Membrana:** Son elementos planos que constan de dos grados de libertad en cada nodo, soportan esfuerzos axiales como deformaciones planas y esfuerzos planos, pero no flexión. [24]
- **Elementos Shell:** Estos elementos consta con seis grados de libertad en cada nodo y soportan esfuerzos axiales y de flexión. [24]



Figura 2. 18. Elemento bidimensional [25]

c). Elementos Tridimensionales: También llamados elementos sólidos, sus nodos se ubican en los vértices o también se pueden ubicar en las aristas o caras, los elementos de este grupo son. [24]

- **Elementos Tetraedros:** Son elementos sólidos con tres grados de libertad en cada nodo, estos elementos son triángulos tridimensionales. [24]
- **Elementos hexaédricos:** Son elementos sólidos con tres grados de libertad en cada nodo, tiene una forma de un cuadrilátero tridimensional. [24]

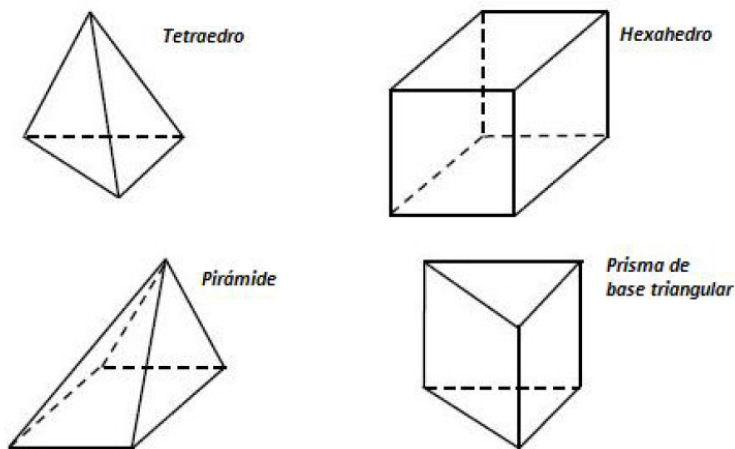


Figura 2. 19. Tipos de elementos tridimensionales [25]

2.2.20.2.3 Evaluación de la calidad de malla

En la actualidad el proceso de mallado es un cuello de botella en las simulaciones numéricas. Los generadores de malla totalmente automatizados son muy utilizados ya que son mejores y en la actualidad están siendo muy utilizados. Al mismo tiempo, los requerimientos de mallado rápido y de calidad conllevan un incremento en el número de nodos y esto es un problema en los resultados y tiempos de simulación. [17]

Para la evaluación de la malla existen parámetros que deben cumplirse o por lo menos acercarse a dichos valores, los cuales se enfocan en la forma y uniformidad de cada elemento. Entre los principales parámetros de evaluación tenemos los siguientes. [17]

- **Suavidad (*Smoothness*):** Este parámetro se trata del cambio del tamaño de las celdas adyacentes. En general se recomienda que el cambio no sea mayor al 20%. [34]

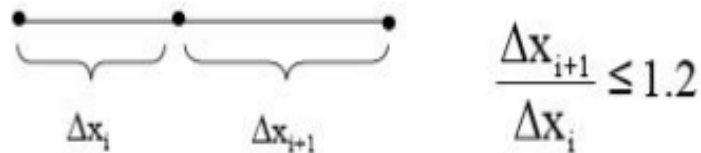


Figura 2. 20. Cambio de tamaño [17]

- **Relación de aspecto (*Aspect ratio*):** Este parámetro determina la extensión de una celda. Se calcula dividiendo entre el valor máximo y mínimo entre la distancia de un elemento y el centroide de una cara, y la distancia entre el centroide del mismo elemento con sus nodos. [17]

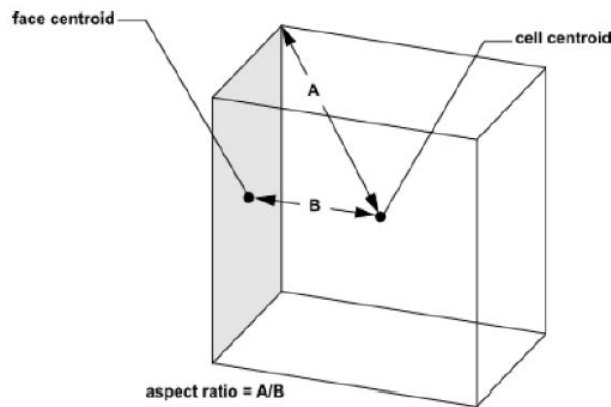


Figura 2. 21. Relación de aspecto [17]

- **Oblicuidad (*Skewness*):** Este parámetro es la diferencia entre la forma de un elemento y la forma de un elemento equilátero de igual volumen. Es parámetro es de mucho interés ya que un alto nivel de oblicuidad puede generar errores o incluso imposibilitar la aplicación de las ecuaciones diferenciales. Los valores recomendables son 0 mientras se aproxima a 1 son de calidad muy pobre.



Figura 2. 22. Oblicuidad (Skewness) [17]

- **Calidad ortogonal (Orthogonal Quality):** La calidad ortogonal nos permite evaluar mallas para tener buenos resultados. Se podría decir que es una forma de medir linealidad. Los valores recomendados están entre 0 y 1 mientras más cerca de 1 es el valor mayor es la calidad. [17]

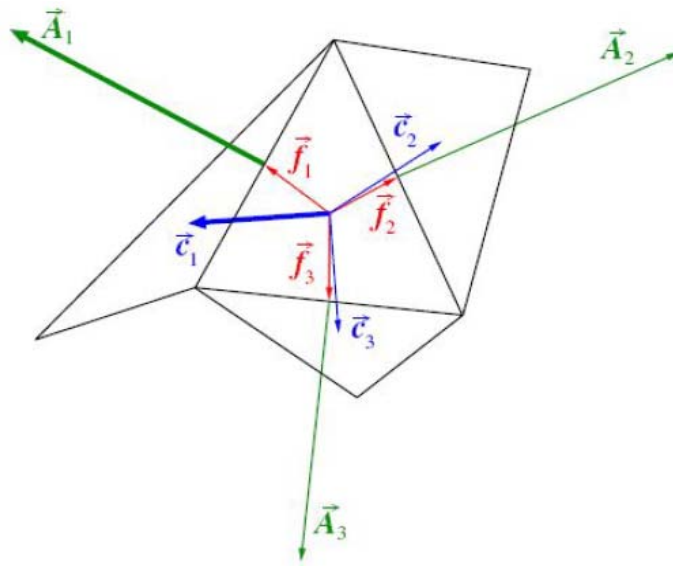


Figura 2. 23. Calidad ortogonal (Orthogonal Quality) [17]

- **Factor de deformación (Warping factor):** Deformación de las caras de las celdas con base cuadrada. [17]

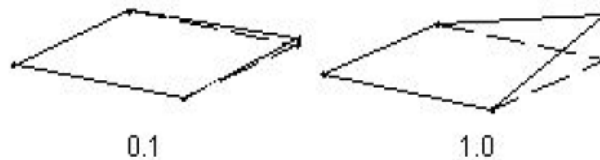


Figura 2. 24. Factor de deformación (Warping factor) [17]

- **Angulo máximo de esquina (Maximum Corner Angle):** Para para bases cuadradas el máximo ángulo capaz de soportar un vértice entre dos costados. Mientras más grade el ángulo de menor calidad es el elemento. [17]



Figura 2. 25. Ángulo máximo de esquina [17]

Resumen de los parámetros de evaluación de la calidad de malla:

Tabla 2. 6. Parámetros de control de la calidad de malla [17]

Parámetros de control	Valores aceptados
Oblicuidad (Skewness)	< 0,98
Cualidad ortogonal (Orthogonal Quality)	> 0,15
Factor de deformación (Warping factor)	< 1
Angulo máximo de esquina (Maximum Corner Angle)	< 180
Relación de aspecto (Aspect ratio)	< 50

2.2.20.3 CFD Pre-procesamiento

Es una interfaz, coherente e intuitiva para la definición de una física compleja necesario para un análisis CFD. Esta herramienta lee una o más mallas de una variedad de fuentes y proporciona al usuario opciones para la asignación de dominios, así como las condiciones de contorno deben ser precisas y considerar todo aspecto que influirá en los resultados. [19]

- El método de volúmenes finitos discretiza en volúmenes de control finitos pequeños sensibles a los fenómenos de transporte inherentes al flujo de fluidos.
- Condiciones de borde, en esta fase se determina las características o valores que tendrán cada variable investigada en el contorno del dominio. [20]

2.2.20.4 CFD Solver

Los programas basados en el método de volúmenes finitos (MVF) y elementos finitos (MEF), generan una ecuación matricial $[A]x = b$. los diferentes sistemas computacionales incluyen algoritmos cerrados que resuelven este sistema numéricamente.

Para el caso de MVF es muy complejo. El flujo de fluidos estable por ejemplo, requiere un flujo transitorio virtual que no tiene ningún significado físico pero se requiere para resolver las ecuaciones de momentum y energía implícitas en las ED. Para MFV la convergencia se aplica al proceso por el cual q soluciones iterativas del sistema $[A]x=b$. satisfacen algún criterio de error. [20]

2.2.20.5 CFD Post-procesamiento

CFD-Post representa resultados tanto gráficos como cuantitativos. La capacidad de visualización de CFD-Post proporciona información sobre el comportamiento del campo de flujo con características como isosuperficies, rebanadas vectores, animaciones y líneas de corriente. [19]

El proceso arroja una serie de datos ordenados en arreglos matriciales cuyas entradas son la solución a cada elemento o volumen finito. Los programas de post proceso representa dichos arreglos matriciales en toda la extensión de geometría donde es válida la solución, le prestan las herramientas al analista para sacar conclusiones, emulando: termómetros, medidores de flujo, galgas etc.

Procedimiento

- Preparar los lugares donde van a ser extraídos los datos.
- Crear variables, expresiones que se utilizan para extraer datos.
- Generar datos cualitativos en las ubicaciones requeridas
- Generar datos cuantitativos en las ubicaciones requeridas
- Generar informes. [20]

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1 Análisis e identificación de los emisores de goteo que ofrece el mercado actual.

Para determinar las características de un nuevo diseño de emisor de goteo se procedió a realizar un análisis de los emisores que existen en nuestro mercado en la actualidad, para determinar el funcionamiento de cada una de las partes de las que consta un emisor de goteo para luego realizar variaciones y mejorar su funcionamiento.

En esta investigación no se ha logrado obtener una amplia información respecto a la presurización y el volumen de agua de descarga durante un periodo de tiempo. Esto se debe a que existe mucha variación entre los productos de goteo y las condiciones del campo, lo que es difícil emitir criterios generales de diseño.

Se determinó la necesidad de estudiar los siguientes parámetros de los emisores para caracterizar de mejor manera su funcionamiento:

- Evaluar el caudal de emisión de 4 emisores de goteo con 6 valores de presión, que van de 1 a 3 bar.
- Evaluar y clasificar los emisores de acuerdo con el coeficiente de variación (Cv) y del coeficiente de uniformidad (CU).
- Caracterizar la relación entre el flujo y la presión para cada modelo de emisor. Clasificar a los emisores como compensado y no compensado basados en el coeficiente exponente (x) del emisor.

3.1.1 Modelos de emisores de goteo

Cuatro modelos de emisores con características diferentes se analizarán a continuación en la tabla 3.1 se indica los modelos de análisis. En estos modelos se puede apreciar los diferentes caudales de descarga.

El mercado local presenta los siguientes tipos de emisores de goteo para riego agrícola en plantaciones de mora.

Tabla 3. 1. Emisores de goteo adquiridos en el mercado

EMISOR	MODELO	TIPO	CAUDAL	CASA COMERCIAL
1	Jain J-SC PC	Autocompensado	8.2 (L/h)	Hidrotecnología
2	Clicktif HD	Autocompensado	4 (L/h)	Hidrotecnología
3	Netafim	Autocompensado	7,5 (L/h)	Hidrotecnología
4	Rainbow ITALY	No compensado	4 (L/h)	Hidrotecnología

(Fuente: Autor)

3.1.1.1. Jain J-SC PC



Figura 3. 1. Gotero auto compensado [26]

Casa comercial: Hidrotecnología Ambato

Marca: JAIN J-SC PC plus

Aplicaciones

Recomendado para huertos, plantas frutales, plantaciones, viveros y creación de zonas verdes.

Estructura y características

- El emisor de goteo se puede abrir para facilitar la limpieza.
- Fabricado con plástico virgen, para un rendimiento estable.
- Diafragma de goma de silicona, asegura un rendimiento constante durante más tiempo.
- Tapa de colores que facilita la identificación del caudal.
- Estrecha entrada de forma cruz que actúa como un filtro.

Información técnica

- Coeficiente de variación de fabricación, $C_v < 5\%$ que garantizar la uniformidad de emisión de campo alto.
- Presión de trabajo: 1 a 3 bar
- Requisitos de filtración: 130 micrones o menor

Datos técnicos

En la tabla 3.2 se muestran los diferentes caudales de descarga de acuerdo al tipo de emisor los cuales se diferencia por su color.

Tabla 3. 2. Código de colores del emisor [26]

Specifications

Discharge		Color of cap & insert	Emitter exponent (x)	Flow coefficient (k)	Coeff. of mfr. variation, CVm
lph	gph				
2.2	0.58	Yellow	0.04	2.2	4
4.2	1.11	Black	0.03	4.2	3
8.2	2.16	Blue	0.08	8.2	3.5

En la tabla 3.3 se puede observar los diferentes códigos dados por el fabricante el código JSCPC02 significa que la descarga del emisor es de 2.2 l/h.

Tabla 3. 3. JSCPC02 código de descarga del emisor [26]

Ordering Specifications

JSCPC	XX
	Discharge (lph)
	02
	04
	08

Example: JSCPC02 - This code represents J-SC-PC-Plus® Emitter having 2.2 lph discharge.

Gráfica de funcionamiento

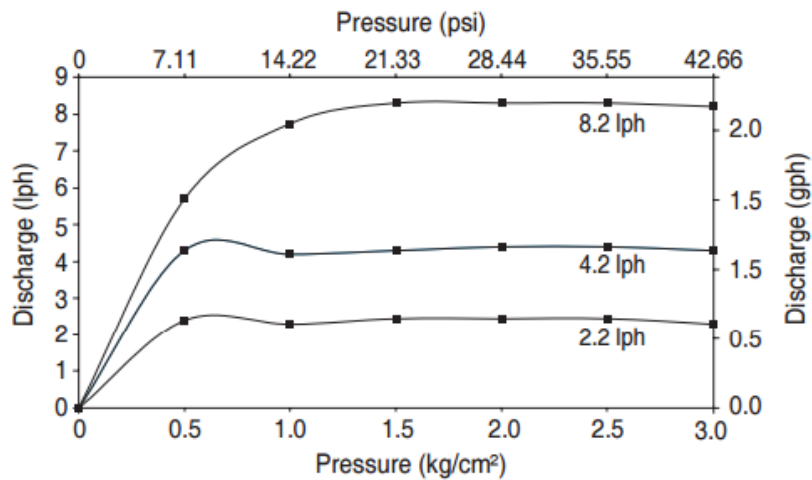


Figura 3. 2. Gráfica caudal vs presión. [26]

3.1.1.2 Clicktif Hd



Figura 3. 3. Gotero auto compensado Clicktif Hd [27]

Casa comercial: Hidrotecnología Ambato

Producto: ClickTIF compensación de presión (PC)

Aplicaciones

- Recomendado para huertos, plantas frutales, plantaciones, viveros y creación de zonas verdes.
- Riego por pulsos y riego en cultivos hidropónicos
- Evita el exceso de drenaje en lugares bajos

Estructura y características

- Cuatro elementos de diseño de goteros reducen las obturaciones a un mínimo
 - Entrada de agua protegida en forma de cruz
 - Mecanismo de lavado de diafragma
 - Potente flujo turbulento en un laberinto
 - Amplios pasos de agua
- Plástico de gran calidad resistente a productos químicos

Información técnica

- Descarga nominal 1.3, 2, 3, 4, 8 y 12 l/h
- CV: menos de un 4%
- Presión de apertura 4.0m
- Presión de cierre 2.0m

Código de colores

Salida de torneado cónico

Salida dentada 3/5



Código de colores

PC + CNL: Carcasa marrón claro

PC: Carcasa negra

1.3 l/h: Cubierta gris

2.0 l/h: Cubierta marrón

3.0 l/h: Cubierta azul

4.0 l/h: Cubierta negra

8.0 l/h: Cubierta verde

12.0 l/h: Cubierta roja

Figura 3. 4. Código de colores emisor clicktif [27]

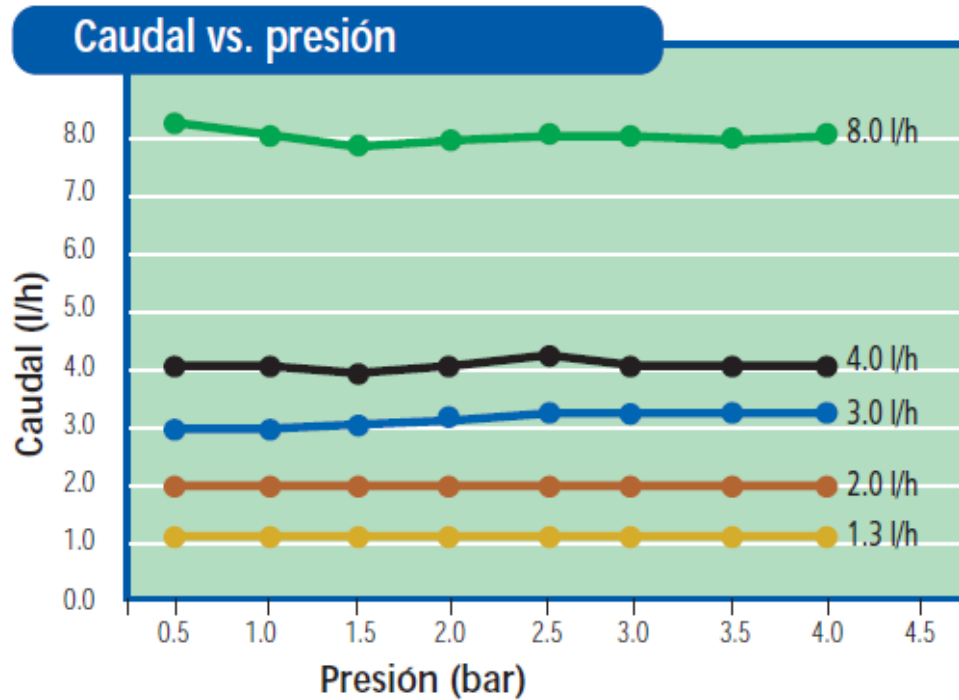


Figura 3. 5. Gráfica caudal vs presión emisor clicktif [27]

3.1.1.3 Netafim



Figura 3. 6. Gotero auto compensado netafim [Autor]

Casa comercial: Hidrotecnología Ambato

Marca: NETAFIM

Aplicaciones

- Puede ser utilizado en redes de tuberías de presión con amplias variaciones
- Puede ser instalado en superficie o subsuelo
- Jardinería y macetas

Características

- Flujo turbulento y resistencia a la obstrucción
- regula el flujo y proporciona acción continua de auto-limpieza durante la operación
- Ofrece el mismo flujo de entre 7 y 50 psi
- válvula de retención interna de 1,5 psi ayuda a prevenir el desgaste
- Operación Anti-sifón evita que los contaminantes puedan ser arrastrados a los gotero

Especificaciones

- Caudal nomina: 2 GPH
- Presión máxima: 50 psi
- Filtración recomendada 120 mesh

Presentación

PCDj DRIPPERS Ordering Information			
Model Number	Description	Color	Bag Quantity
PCDj05-25	0.5 GPH Barb Inlet x .160" Barb Outlet	Red	25
PCDj05-100	0.5 GPH Barb Inlet x .160" Barb Outlet	Red	100
PCDj05-250	0.5 GPH Barb Inlet x .160" Barb Outlet	Red	250
PCDj05-1000	0.5 GPH Barb Inlet x .160" Barb Outlet	Red	1,000
PCDj10-25	1.0 GPH Barb Inlet x .160" Barb Outlet	Gray	25
PCDj10-100	1.0 GPH Barb Inlet x .160" Barb Outlet	Gray	100
PCDj10-250	1.0 GPH Barb Inlet x .160" Barb Outlet	Gray	250
PCDj10-1000	1.0 GPH Barb Inlet x .160" Barb Outlet	Gray	1,000
PCDj20-25	2.0 GPH Barb Inlet x .160" Barb Outlet	Green	25
PCDj20-100	2.0 GPH Barb Inlet x .160" Barb Outlet	Green	100
PCDj20-250	2.0 GPH Barb Inlet x .160" Barb Outlet	Green	250
PCDj20-1000	2.0 GPH Barb Inlet x .160" Barb Outlet	Green	1,000

Figura 3. 7. Tipos de emisores de acuerdo al código de colores [28]

Representación gráfica

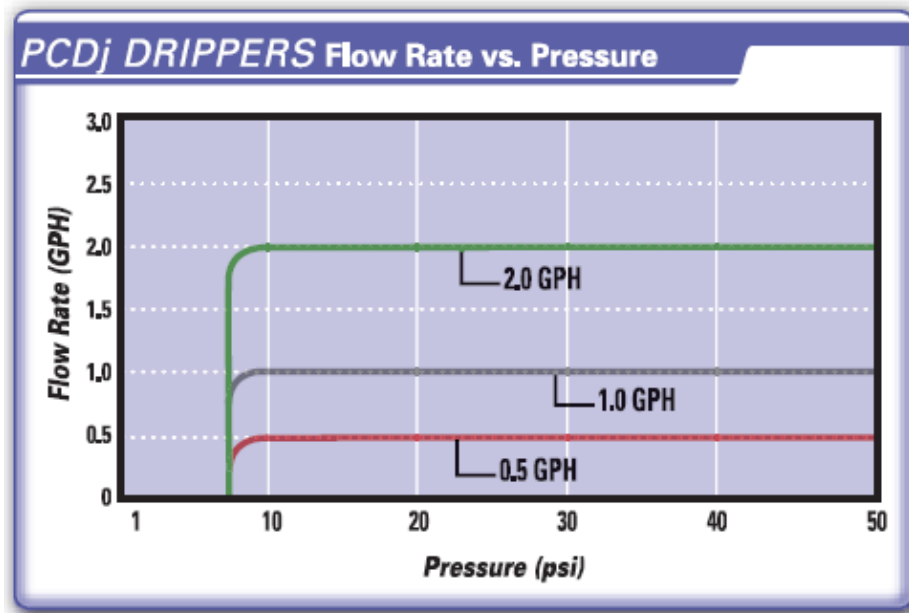


Figura 3. 8. Gráfica caudal vs presión emisor netafim [28]

3.1.1.4. Rainbow Italy



Figura 3. 9. Emisores de goteo J-turbo [26]

Casa comercial: Hidrotecnología Ambato

Marca: Rainbow ITALY

Aplicaciones

Recomendado para huertos, plantas frutales, plantaciones, viveros y creación de zonas verdes.

Estructura y características

- El gotereo se puede abrir para facilitar la limpieza
- Fabricado con plástico virgen, para un rendimiento estable
- Ruta de flujo turbulento exclusiva con amplia sección transversal
- Tapa de colores que facilita la identificación del caudal

Información técnica

- $CV < 3\%$
- Presión de trabajo: 0,5 a 2,5 bar
- Requisitos de filtración: 120 mesh, 130 micrones
- Diámetro de perforación requerido: 2,9mm

Datos técnicos

Tabla 3. 4. Datos técnicos código de colores [26]

Datos técnicos			
Caudal (l/h)	Color	Exponente (x)	Coefficiente (k)
2.0	Amarillo	0.48	2.0
4.0	Negro	0.48	4.0
8.0	Azul	0.48	8.0
14.0	Verde	0.48	14.0

Tabla 3. 5. Datos caudal vs presión [26]

Presión (bar)	Caudal (l/h)			
	2.0	4.0	8.0	14.0
0.5	1.4	2.9	5.7	10.0
1.0	2.0	4.0	8.0	14.0
1.5	2.4	4.9	9.7	17.0
2.0	2.8	5.6	11.2	19.5
2.5	3.1	6.2	12.4	21.7
3.0	3.4	6.8	13.6	23.7
3.5	3.6	7.3	14.6	25.5

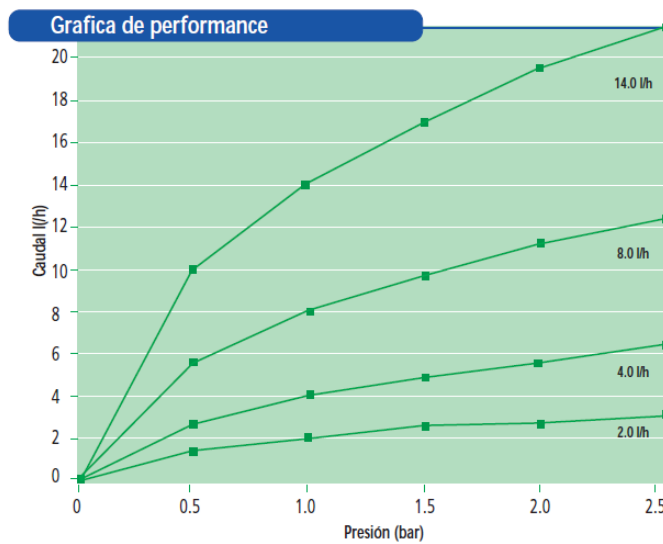


Figura 3. 10. Gráfica caudal vs presión emisor [26]

3.1.2 Identificación de los parámetros y características de los emisores

Tabla 3. 6. Análisis de los componentes del emisor de goteo

Emisor de goteo:	Jain J-SC PC
<p>Descripción: emisor de goteo autocompensado, el gotero puede ser abierto para facilitar su limpieza.</p>	 <p>Conjunto armado</p>
DESPIECE	
<p>Carcasa: fabricado en plástico virgen para obtener un desempeño estable.</p>	
<p>Interior: entrada angosta en forma de cruz que actúa como filtro</p>	
<p>Diafragma: fabricado de goma silicona que asegura un desempeño consistente por un periodo más largo.</p>	
Características y beneficios	
<ul style="list-style-type: none"> • Diseño de autolimpieza que asegura el lavado en todo momento durante su funcionamiento • Amplio rango de compensación de presión operativa, permitiendo laterales más largos • Grado de filtración requerido: 130 micrones o menor 	

Emisor de goteo	Clicktif Hd
<p>Descripción: gotero de botón con presión compensada y antidrenante. Evita el drenaje en exceso en lugares bajos.</p>	 <p>Conjunto armado</p>
DESPIECE	
<p>Carcasa: entrada de agua protegida en forma de cruz. Conector estándar cónico de 5mm.</p>	
<p>Interior: fuerte flujo turbulento en laberinto con limpieza y lavados continuos. Grandes pasajes de agua.</p>	
<p>Diafragma: mecanismo de lavado de diafragma de regulación. La autolimpieza se repite con cada puesta en marcha o parada de la instalación.</p>	
Características y beneficios	
<ul style="list-style-type: none"> • Recomendación de filtración: 130 micrones (120 mesh) • Fabricado según norma UNE 68076 para tuberías emisoras 	

Emisor de goteo	Netafim
<p>Descripción: compensación de presión continua, gotero autolimpiante con válvula de regulación</p>	 <p>Conjunto armado</p>
<p>DESPIECE</p>	
<p>Carcasa: forma especial a la entra del gotero, perfil pequeño</p>	
<p>Interior: el diseño turbulento regula el flujo y proporciona la acción continua de auto limpieza durante toda la operación.</p>	
<p>Diafragma: El gotero dispone de una membrana sobre la trayectoria de salida del agua. A presiones bajas, la membrana de silicona se encuentra separada del cuerpo, facilitando la salida al exterior de todas las incrustaciones, cuando la presión aumenta la membrana actúa sobre el canal del cuerpo realizando la autocompensación.</p>	
<p>Características</p>	
<ul style="list-style-type: none"> • Filtración recomendada 120 mesh • Ofrece el mismo flujo entre 7 y 50 psi 	

Emisor de goteo	RAINBOW ITALY
<p>Descripción: gotero desarmable puede ser abierto para facilitar su limpieza, emisor de goteo no compensador de presión</p>	 <p>Conjunto armado</p>
DESPIECE	
<p>Carcasa: fabricado con plástico virgen para lograr un desempeño estable</p>	
<p>Interior: Entrada angosta en forma de cruz actúa como filtro</p>	
<p>Diafragma: Pasaje turbulento del flujo con una sección amplia y cruzada que asegura la resistencia al taponamiento.</p>	
Características	
<ul style="list-style-type: none"> • Grado de filtración requerido: 130 micrones (120 mesh) 	

(Fuente: Autor)

3.1.3 Materiales de fabricación

El avance de la tecnología de los materiales y los plásticos se refleja en la industria de la irrigación lo que permite que cada uno de los diseños de los emisores tengan características propias en cuanto a: Dureza, oxidación, resistencia al ataque de químicos, temperatura, rayos ultravioletas, e insectos.

La mayoría de los goteros son fabricados en: Polipropileno, polietileno de alta densidad, acetal copolímero, etil vinil acetato y elastómeros. Los goteros de polietileno de alta densidad, en su mayoría son goteros que pueden ser usados en líneas integradas de polietileno para que puedan fijarse o pegarse a la misma. La compatibilidad entre materiales es importante, pues el polietileno y el polipropileno no son materiales compatibles que puedan pegarse.

Los goteros de elastómeros son por lo general autorregulados y de una sola pieza. Otro material importante que forma parte de los goteros autorregulados es el diafragma que se fabrica en caucho, polímeros encauchetados o elastómeros de alta resistencia y duración, pues están constantemente sometidos a movimiento y variaciones de presión.

3.1.3.1 Materiales de los goteros existentes en el mercado

Tabla 3. 7. Materiales de construcción de los emisores de goteo

Emisor	MODELO	Material del gotero	Material del diafragma
1	Jain J-SC PC	Polietileno de alta densidad	Elastómero
2	Clicktif HD	Polietileno de alta densidad	Elastómero
3	Netafim	Polietileno de alta densidad	Silicona
4	Rainbow ITALY	Polietileno de alta densidad	Elastómero

(Fuente: Autor)

3.1.4 Evaluación de los emisores de goteo

Para caracterizar de mejor manera los emisores de goteo se realizó una prueba de funcionamiento donde se midió el caudal respecto a la variación de presión y el caudal de descarga de los laterales de cada tipo de emisor, para proceder al cálculo del caudal promedio, la desviación estándar, el coeficiente de variación y el coeficiente de uniformidad así como también la comparación de los datos obtenidos en el muestreo con los datos proporcionados por el fabricante para estimar el porcentaje de error. En este estudio, para obtener el valor del exponente (x) y el valor de la constante (C) se realizó una regresión potencial o exponencial en Microsoft Excel.

El desarrollo de la relación entre el caudal y la presión es un paso importante en el proceso de definición de las características del emisor.

Tabla 3. 8. Características principales de los emisores de goteo

Emisor	MODELO	D. Entrada	D. Salida	Caudal	Presión de trabajo
1	Jain J-SC PC	1mm	3.00mm	8,2 (L/h)	0.5 – 2.5 bar (7,2 – 36,3psi)
2	Clicktif HD	2mm	2mm	4 (L/h)	0.5 – 4 bar (7,2 – 58psi)
3	Netafim	2mm	2mm	7,5 (L/h)	0.48 – 3.4bar (7 – 50 psi)
4	Rainbow ITALY	1mm	3.75mm	4 (L/h)	0.5 – 2.5 bar (7.2 – 36,3psi)

(Fuente: Autor)

3.1.4.1 Banco de pruebas

Para realizar la evaluación de los emisores se construyó un banco de pruebas que constan de 13 laterales, cada lateral consta de 10 emisores de goteo con un espacio entre emisores de 1,5m y un espacio entre laterales de 2m. Para la evaluación de los 4 tipos de emisores se separó en 4 bloques con llaves de bola y un lateral libre para la evaluación del nuevo diseño del emisor de goteo.

Tabla 3. 9. Imágenes del banco de pruebas



(Fuente: Autor)

Accesorios utilizados

En la construcción del banco de pruebas se utilizó los siguientes accesorios:

Tabla 3. 10. Accesorios utilizados en banco de pruebas

ACCESORIO	CANTIDAD
Tubo PVC	6m
Filtro	1
Llave de bola	6
Conectores de 12mm	13
Codos	5
Te	5
Tapón 1”	4
Tapón 12mm	13
Manguera 1”	28 m
Manguera 12mm	200 m
Emisor de goteo Jain J-SC PC	30
Emisor de goteo Clicktif HD	30
Emisor de goteo Netafim	30
Emisor de goteo Rainbow ITALY	30

(Fuente: Autor)

Para realizar las mediciones correspondientes para cada gotero se utilizó un manómetro de glicerina con escala en bar y PSI, así como también recipientes graduados con una escala en mililitros y un cronómetro para la verificación del tiempo de la prueba a realizarse.

Tabla 3. 11. Accesorios utilizados en banco de pruebas



(Fuente: Autor)

3.1.4.2 Tiempo de duración

Antes de realizar las pruebas de funcionamiento se dejó gotear durante 2 horas para el acondicionamiento antes de tomar cualquier tipo de pruebas, este proceso se realizó para permitir que escape el aire de las tuberías, y garantizar que el sistema esté completamente presurizado. Debido a las limitaciones de tiempo y el alcance de los recipientes de medición, el periodo de recogida de agua se fijó en 5 minutos. Para minimizar el error producido en las mediciones el evento de muestreo se repitió 3 veces para cada una de las presiones a ser evaluadas. Para la determinación del coeficiente de variación (C_v) y el coeficiente de uniformidad (U_c) se realizó 2 veces el evento de muestreo para minimizar el error.

Presión de evaluación de los emisores de goteo

La toma de muestra se realizaron con 6 presiones diferentes las cuales son: 0,5 bar 1 bar 1,5 bar 2 bar 2,5 bar 3 bar. Para el cálculo de los coeficientes (C_v) y (U_c) se trabajó con una presión de 2 bar.

3.1.4.3 Recolección de la información evaluando a diferentes presiones

Los datos obtenidos de la medición de los caudales de los 4 tipos de emisores con diferentes presiones se exponen en las siguientes tablas. Desarrollando el siguiente procedimiento el cual se realizó 3 veces con la misma presión para cada tipo de emisor.

- El primer paso que se realizó fue calibrar la presión de entrada al sistema de riego a una presión de 0.5 bar, 1 bar, 1.5 bar, 2 bar, 2.5 bar 3 bar.



Figura 3. 11. Regulación de presión 1 bar constante durante 5 minutos (Fuente: Autor)

- Luego se inició la medición controlando el tiempo por medio de un cronometro.

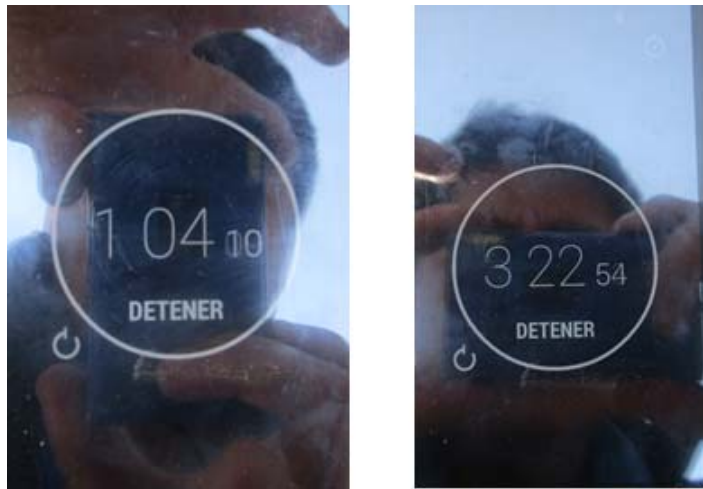


Figura 3. 12. Control del tiempo de prueba (Fuente: Autor)

- Proceso de medición de cada tipo de emisor.



Figura 3. 13. Proceso de medición (Fuente: Autor)

- Cuando se cumple los 5 minutos de prueba se retira los recipientes de medición del lateral de riego.



Figura 3. 14. Final del proceso de la prueba (Fuente: Autor)

- Luego se procede a medir el volumen de agua existente en los recipientes para determinar su caudal.



Figura 3. 15. Verificación del volumen obtenido en la prueba (Fuente: Autor)

- Estabilidad del caudal de los emisores autocompensados a diferentes presiones



Figura 3. 16. Estabilidad del caudal de un emisor autocompensado (Fuente: Autor)

3.1.4.4 Recolección de la información evaluando a 2 bar de presión

Los datos obtenidos de la medición de los caudales evaluados a una presión de 2 bar con 10 emisores del mismo tipo y en un mismo lateral o línea de goteo se especifican en las tablas siguientes.

- De igual manera que el anterior se debe calibrar la presión de entrada al sistema de riego a una presión de 2 bar.



Figura 3. 17. Regulación de presión (Fuente: Autor)

- Proceso de medición de un solo tipo de emisor en una misma línea de goteo para su posterior evaluación del coeficiente de variación y uniformidad.



Figura 3. 18. Proceso de medición (Fuente: Autor)

- Control de tiempo de recolección de agua en los codificadores.



Figura 3. 19. Control del tiempo de duración del proceso (Fuente: Autor)

- Cuando se cumple los 5 minutos de prueba se retira los recipientes de medición del lateral de riego.



Figura 3. 20. Final del proceso de la prueba (Fuente: Autor)

- Luego se procede a medir el volumen de agua existente en los recipientes para determinar su caudal.



Figura 3. 21. Verificación del volumen obtenido en la prueba (Fuente: Autor)

Emisor 1 Jain J-SC PC: A continuación en la tabla 3.12 se detallan los valores obtenidos en la medición de caudales a una presión constante de 2 Bars como se explicó anterior mente la medición se realizó 2 veces para disminuir el error en la medición.

Tabla 3. 12. Datos obtenidos en la medición de caudales del emisor Jain J-SC PC

Jain J-SC PC Medición de caudales (2 bar)				
Mediciones	Medición 1 (ml/5min)	Medición 2 (ml/5min)	Promedio (ml/5min)	Caudal en litros/hora
Caudal 1	600	540	570	6,84
Caudal 2	600	600	600	7,2
Caudal 3	640	620	630	7,56
Caudal 4	840	800	820	9,84
Caudal 5	630	490	560	6,72
Caudal 6	600	600	600	7,2
Caudal 7	700	650	675	8,1
Caudal 8	600	590	595	7,14
Caudal 9	500	700	600	7,2
Caudal 10	700	590	645	7,74
			Promedio	7,55

(Fuente: Autor)

En la tabla 3.13 que se muestra a continuación se detallan los valores recolectados a diferentes presiones, como ya se ha mencionado el proceso se realizó 3 veces para disminuir el error generado en el proceso de medición.

Tabla 3. 13. Datos obtenidos con variación de presión del emisor Jain J-SC PC

Jain J-SC PC					
	Medición 1	Medición 2	Medición 3		
Presión bar	Caudal en (ml/5min)	Caudal en (ml/5min)	Caudal en (ml/5min)	Promedio (ml/5min)	Caudal L/h
0,5	520	520	520	520,00	6,24
1	550	610	580	580,00	6,96
1,5	655	640	650	648,33	7,78
2	660	690	680	676,67	8,12
2,5	670	675	670	671,67	8,06
3	675	660	670	668,33	8,02

(Fuente: Autor)

Emisor 2 Clicktif HD: En la tabla 3.14 se indica los valores obtenidos de la medición de caudales a una presión de 2 bar como se explicó anteriormente la medición se realizó 2 veces para disminuir el error en la medición y mejorar los resultados obtenidos para ser comparados con los resultados que brinda el catalogo del fabricante.

Tabla 3. 14. Datos obtenidos en la medición de caudales del emisor Clicktif HD

ClickTIF Medición de caudales (2 bar)				
Mediciones	Medición 1 (ml/5min)	Medición 2 (ml/5min)	Promedio (ml/5min)	Caudal en (litros/hora)
Caudal 1	320	310	315	3,78
Caudal 2	320	320	320	3,84
Caudal 3	310	325	317,5	3,81
Caudal 4	310	330	320	3,84
Caudal 5	315	330	322,5	3,87
Caudal 6	300	300	300	3,6
Caudal 7	300	320	310	3,72
Caudal 8	315	330	322,5	3,87
Caudal 9	320	340	330	3,96
Caudal 10	300	310	305	3,66
			Promedio	3,8

(Fuente: Autor)

En la tabla 3.15 que se muestra a continuación se detallan los valores recolectados a diferentes presiones.

Tabla 3. 15. Datos obtenidos con variación de presión del emisor Clicktif HD

ClickTIF					
	Medición 1	Medición 2	Medición 3		
Presión bar	Caudal en (ml/5min)	Caudal en (ml/5min)	Caudal en (ml/5min)	Promedio (ml/5min)	Caudal L/h
0,5	310	340	300	316,67	3,8
1	320	330	300	316,67	3,8
1,5	300	290	300	296,67	3,56
2	310	320	310	313,33	3,76
2,5	330	310	320	320,00	3,84
3	300	310	290	300,00	3,6

(Fuente: Autor)

Emisor 3 Netafim: A continuación en la tabla 3.16 se detallan los valores obtenidos en la medición de caudales a una presión constante de 2 bar. De igual manera la

medición se realizó 2 veces para disminuir el error en la medición y mejorar los resultados obtenidos para ser comparados con los resultados que brinda el catalogo del fabricante.

Tabla 3. 16. Datos obtenidos en la medición de caudales emisor Netafim

NETAFIM Medición de caudales (2 bar)				
Mediciones	Medición 1 (ml/5min)	Medición 2 (ml/5min)	Promedio (ml/5min)	Caudal en (litros/hora)
Caudal 1	620	625	622,5	7,47
Caudal 2	625	630	627,5	7,53
Caudal 3	610	600	605	7,26
Caudal 4	620	655	637,5	7,65
Caudal 5	624	630	627	7,524
Caudal 6	615	600	607,5	7,29
Caudal 7	600	600	600	7,2
Caudal 8	610	600	605	7,26
Caudal 9	615	600	607,5	7,29
Caudal 10	700	690	695	8,34
			Promedio	7,48

(Fuente: Autor)

En la tabla 3.17 que se muestra a continuación se detallan los valores recolectados a diferentes presiones.

Tabla 3. 17. Datos obtenidos con variación de presión emisor Netafim

NETAFIM					
	Medición 1	Medición 2	Medición 3		
Presión bar	Caudal en ml	Caudal en ml	Caudal en ml	Promedio ml	Caudal L/h
0,5	550	540	525	538,33	6,46
1	645	650	650	648,33	7,78
1,5	625	630	635	630,00	7,56
2	630	645	640	638,33	7,66
2,5	620	620	620	620,00	7,44
3	620	625	630	625,00	7,5

(Fuente: Autor)

Emisor 4 Rainbow Italy: En la tabla 3.18 se detallan los valores obtenidos en la medición de caudales a una presión constante de 2 bar. El procedimiento para la medición realizo de la misma manera que en los casos anteriores.

Tabla 3. 18. Datos obtenidos en la medición de caudales emisor Rainbow Italy

Rainbow ITALY Medición de caudales (2 bar)				
Mediciones	Medición 1 (ml/5min)	Medición 2 (ml/5min)	Promedio (ml/5min)	Caudal en (litros/hora)
Caudal 1	300	400	350	4,2
Caudal 2	570	560	565	6,78
Caudal 3	470	460	465	5,58
Caudal 4	370	350	360	4,32
Caudal 5	420	450	435	5,22
Caudal 6	480	400	440	5,28
Caudal 7	400	430	415	4,98
Caudal 8	350	370	360	4,32
Caudal 9	450	440	445	5,34
Caudal 10	390	400	395	4,74
			Promedio	5,08

(Fuente: Autor)

En la tabla 3.19 que se muestra a continuación se detallan los valores recolectados a diferentes presiones.

Tabla 3. 19. Datos obtenidos con variación de presión emisor Rainbow Italy

Rainbow ITALY					
	Medición 1	Medición 2	Medición 3		
Presión Bar	Caudal en ml	Caudal en ml	Caudal en ml	Promedio ml	Caudal L/h
0,5	225	218	222	221,67	2,55
1	268	275	260	267,67	3,212
1,5	350	352	342	348,00	4,176
2	410	440	450	433,33	5,2
2,5	430	450	460	446,67	5,36
3	560	500	555	538,33	6,46

(Fuente: Autor)

3.1.4.5 Resultados obtenidos

En la tabla 3.20 se puede observar los resultados calculados utilizando las formulas 2.2.1, 2.2.2 2.2.3, 2.2.4 descritas en la página 18 en el capítulo anterior para una mejor caracterización de los emisores de goteo.

Tabla 3. 20. Resultados obtenidos a 2 bar de presión

Modelo de emisor	Caudal de descarga promedio (qa)	Desviación estándar (Sq)	Coefficiente de variación (Cv)	Coefficiente de Christiansen (Uc)
Jain J-SC PC	7,55 lt	0,9	0,119	91,99 %
ClickTIF	3,8 lt	0,11	0,028	97,79 %
NETAFIM	7,48 lt	0,34	0,045	97,01 %
Rainbow ITALY	5,08 lt	0,77	0,151	88,89 %

(Fuente: Autor)

Clasificación

Con los resultados obtenidos en la tabla 3.20 se procede a clasificar de acuerdo a la tabla 2.2 descrita en la página 19 basada en el coeficiente de variación (C_v).

Tabla 3. 21. Clasificación según el (C_v)

MODELO DE EMISOR	COEFICIENTE DE VARIACIÓN (C_v)	CLASIFICACIÓN
Jain J-SC PC	0,119	Pobre
ClickTIF	0,028	Excelente
NETAFIM	0,045	Excelente
Rainbow ITALY	0,151	Pobre

(Fuente: Autor)

Los 4 modelos de emisores se clasifican con resultados obtenidos en la tabla 3.20 basados en el coeficiente de uniformidad (U_c). En excelentes hasta inaceptables de acuerdo a la tabla 2.3 descrita en la página 19.

Tabla 3. 22. Clasificación según el (U_c)

MODELO DE EMISOR	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (U_c)	CLASIFICACIÓN
Rainbow ITALY	91,99 %	Excelente
ClickTIF	97,79 %	Excelente
NETAFIM	97,01 %	Excelente
Rainbow ITALY	88,89 %	Bueno

(Fuente: Autor)

3.1.4.6 Relación entre el caudal y presión

El desarrollo de la curva entre el caudal y la presión sirve como base de la selección del tipo de emisor y el diseño del sistema.

Emisor 1 Jain J-SC PC: En la tabla 3.23 podemos observar el error generado entre los datos obtenidos en la medición y los valores que nos da el catalogo del emisor.

Tabla 3. 23. Valores obtenidos en los ensayos emisor Jain J-SC PC

	Catálogo	Medición	
Presión bar	Caudal l/h	Caudal l/h	Error
0,5	5,9	6,2	5,08 %
1	7,8	7,08	9,23 %
1,5	8,3	7,78	6,27 %
2	8,2	8,12	0,98 %
2,5	8,2	8,06	1,71 %
3	8	8,02	0,25 %
		Promedio	3,92 %

(Fuente: Autor)

La figura 3.22 se muestra la gráfica caudal vs presión. También se observa la regresión exponencial para obtener los valores del exponente x y de la constante C .

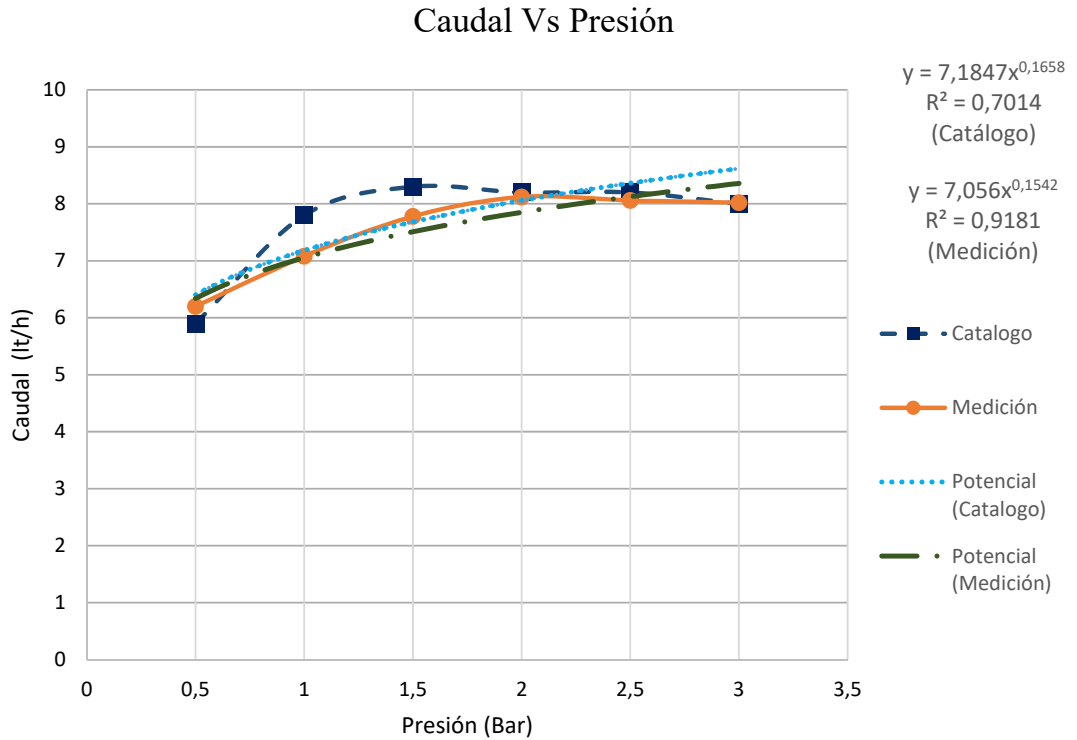


Figura 3. 22. Curva caudal vs presión emisor Jain J-SC PC (Fuente: Autor)

En la tabla 3.24 que se muestra a continuación se detallan los valores del exponente x , la constante C y el error generado entre el catálogo y la medición.

Tabla 3. 24. Valores calculados emisor Clicktif HD

Régimen	Exponente X (Catálogo)	Exponente X (Medición)	Tipo de emisor	Error	Constante C (Catálogo)	Constante C (Catálogo)	Error
Trayectoria de flujo variable	0,165	0,154	Totalmente presión compensada	7,14%	7,184	7,056	1,82 %

(Fuente: Autor)

Ecuaciones

A continuación con el uso de la ecuación 2.2.5 descrita en la página 19 se plantea las ecuaciones ideales para el funcionamiento del emisor Jain J-SC PC.

$$Q = CH^x$$

$$Q = 7,1847H^{0,1658} \quad \text{Catálogo} \quad [\text{Ec. 3.1.1}]$$

$$Q = 7,056H^{0,1542} \quad \text{Medición} \quad [\text{Ec. 3.1.2}]$$

Emisor 2 Clicktif HD: En la tabla 3.25 podemos observar el error generado entre los datos obtenidos en la medición y los valores que nos da el catalogo.

Tabla 3. 25. Valores obtenidos en los ensayos emisor Clicktif HD

	Catálogo	Medición	
Presión bar	Caudal l/h	Caudal l/h	Error
0,5	4	3,80	5,00 %
1	4	3,80	5,00 %
1,5	3,8	3,56	6,32 %
2	4,1	3,76	8,29 %
2,5	4,2	3,84	8,57 %
3	4	3,60	10,00 %
		Promedio	7,20 %

(Fuente: Autor)

La figura 3.23 muestra la gráfica caudal vs presión. También se observa la regresión exponencial para obtener los valores del exponente x y de la constante C .

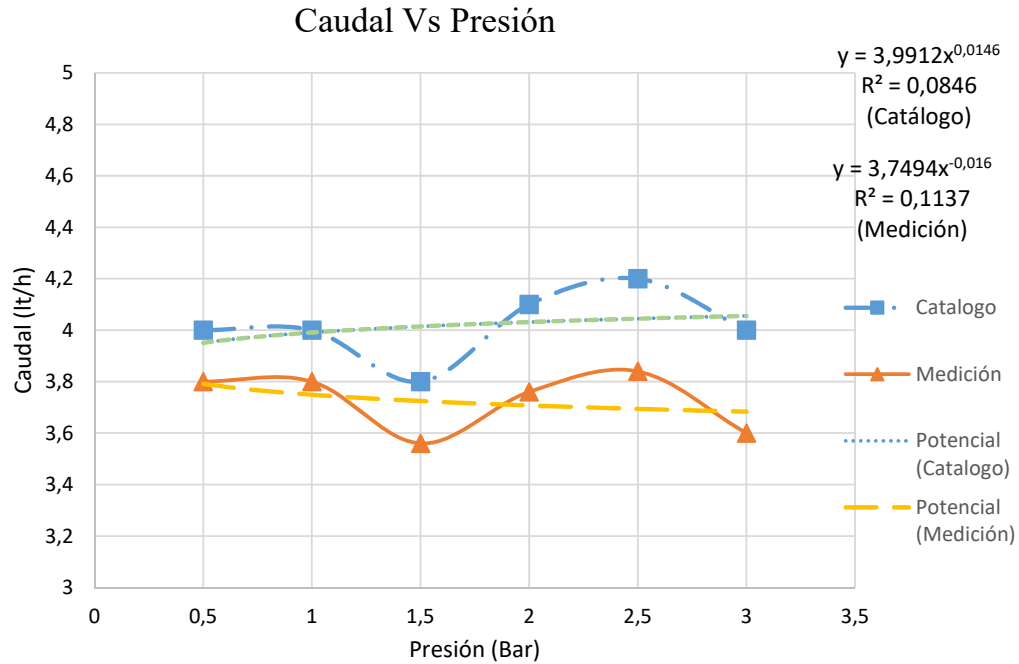


Figura 3. 23 Curva caudal vs presión emisor Clicktif HD. (Fuente: Autor)

En la tabla 3.26 se detallan los valores del exponente x , la constante C y el error generado entre el catalogo y la medición.

Tabla 3. 26. Valores calculados emisor Clicktif HD

Régimen	Exponente X (Catalogo)	Exponente X (medición)	Tipo de emisor	Error	Constante C catalogo	Constante C Medición	Error
trayectoria de flujo variable	0,014	0,016	Totalmente presión compensada	12,50 %	3,9912	3,75	6,45 %

(Fuente: Autor)

Ecuaciones

A continuación con el uso de la ecuación 2.2.5 descrita en la página 19 se plantea las ecuaciones ideales para el funcionamiento del emisor Clicktif HD.

$$Q = CH^x$$

$$Q = 3,9912H^{0,0146} \quad \text{Catálogo} \quad [\text{Ec. 3.1.3}]$$

$$Q = 3,7494H^{0,016} \quad \text{Medición} \quad [\text{Ec. 3.1.4}]$$

Emisor 3 Netafim: En la tabla 3.27 podemos observar el error generado entre la medición y los valores que nos da el catalogo.

Tabla 3. 27. Valores obtenidos en los ensayos emisor Netafim

Presión bar	Caudal GPH	Catálogo	Medición	Error
		Caudal l/h	Caudal l/h	
0,50	1,8	6,81	6,46	5,18 %
1,00	2	7,57	7,78	2,77 %
1,50	2	7,57	7,56	0,13 %
2,00	2	7,57	7,66	1,19 %
2,50	2	7,57	7,44	1,72 %
3,00	2	7,57	7,5	0,92 %
			Promedio	1,99 %

(Fuente: Autor)

La figura 3.24 se muestra la gráfica caudal vs presión. También se observa la regresión exponencial para obtener los valores del exponente x y de la constante C .

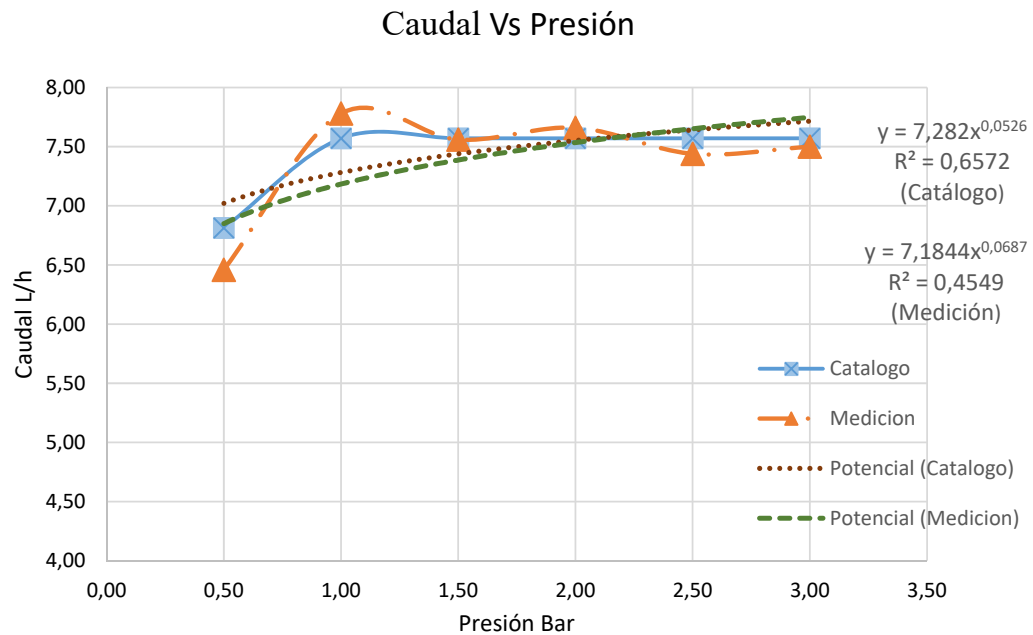


Figura 3. 24 Curva caudal vs presión emisor Netafim. (Fuente: Autor)

En la tabla 3.28 se detallan los valores del exponente x , la constante C y el error generado entre el catalogo y la medición.

Tabla 3. 28. Valores calculados del emisor Netafim

Régimen	Exponente X (Catálogo)	Exponente X (Medición)	Tipo de emisor	Error	Constante C catálogo	constante C Medición	Error
trayectoria de flujo variable	0,0378	0,043	Totalmente presión compensada	12,09 %	7,282	7,185	1,35 %

(Fuente: Autor)

Ecuaciones

A continuación con el uso de la ecuación 2.2.5 descrita en la página 19 se plantea las ecuaciones ideales para el funcionamiento del emisor Netafim.

$$Q = CH^x$$

$$Q = 7,282H^{0,0526} \quad \text{Catálogo} \quad [\text{Ec. 3.1.5}]$$

$$Q = 7,1844H^{0,0687} \quad \text{Medición} \quad [\text{Ec. 3.1.6}]$$

Emisor 4 Rainbow Italy: En la tabla 3.29 podemos observar el error generado entre la medición y los valores que nos da el catálogo.

Tabla 3. 29. Valores obtenidos en los ensayos emisor Rainbow Italy

	Catálogo	Medición	
Presión bar	Caudal l/h	Caudal l/h	Error (Medición)
0,5	2,9	2,66	9,02 %
1	4	3,52	13,64 %
1,5	4,9	4,176	17,34 %
2	5,6	5,2	7,69 %
2,5	6,2	5,6	10,71 %
3	6,8	6,46	5,26 %
		Promedio	10,61 %

(Fuente: Autor)

La figura 3.25 se muestra la gráfica caudal vs presión. También se observa la regresión potencial para obtener los valores del exponente x y de la constante C .

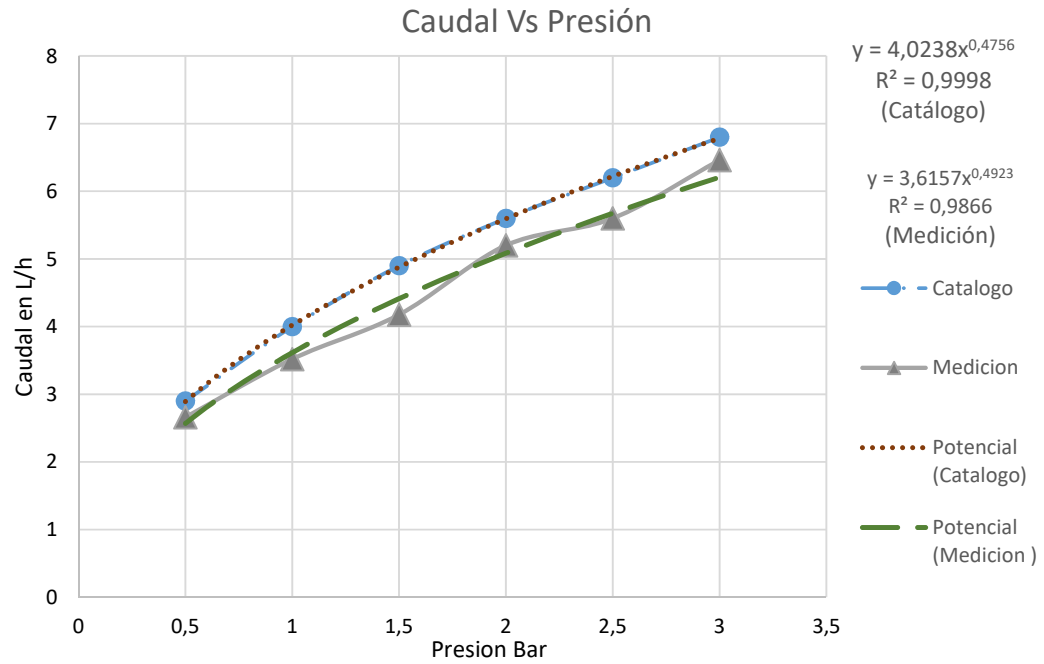


Figura 3. 25 Curva caudal vs presión emisor Rainbow Italy. (Fuente: Autor)

En la tabla 3.30 se detallan los valores del exponente x , la constante C y el error generado entre el catálogo y la medición.

Tabla 3. 30. Valores calculados del emisor Rainbow Italy

Régimen	Exponente X (Catalogo)	Exponente X (medición)	Tipo de emisor	Error Medición	Constante C catálogo	Constante C medición	Error medición
Flujo totalmente turbulento	0,4756	0,4923	Presión No compensada	3,39 %	4,0238	3,616	11,29%

(Fuente: Autor)

Ecuaciones

A continuación con el uso de la ecuación 2.2.5 descrita en la página 19 se plantea las ecuaciones ideales para el funcionamiento del emisor Rainbow Italy.

$$Q = CH^x$$

$$Q = 4,0238H^{0,4756} \quad \text{Catálogo} \quad [\text{Ec. 3.7}]$$

$$Q = 3,6157H^{0,4923} \quad \text{Medición} \quad [\text{Ec. 3.8}]$$

En la tabla 3.31 se muestran un resumen de las ecuaciones ideales para cada uno de los emisores de goteo estudiado.

Tabla 3. 31. Resumen de las ecuaciones ideales

Tipos de emisor	Ecuación catálogo	Ecuación medición
Jain J-SC PC	$Q = 7,1847H^{0,1658}$	$Q = 7,056H^{0,1542}$
Clicktif HD	$Q = 3,9912H^{0,0146}$	$Q = 3,7494H^{0,016}$
Netafim	$Q = 7,282H^{0,0526}$	$Q = 7,1844H^{0,0687}$
Rainbow Italy	$Q = 4,0238H^{0,4756}$	$Q = 3,6157H^{0,4923}$

(Fuente: Autor)

3.2. Identificación de los parámetros necesarios para el diseño de emisores de goteo.

3.2.1 Cálculo del caudal de descarga para un cultivo de mora

3.2.1.1 Área de estudio

El proyecto se desarrolló en el caserío Huambalito perteneciente a la parroquia Bolívar provincia de Tungurahua, se encuentra localizado al sur del cantón Pelileo, su superficie es de 12km², una altura promedió entre 2000 y 2800 m.s.n.m., una presión atmosférica de 72927,13 Pa, una latitud de -1,36882633 y una longitud de -78,5350155830. [29]



Figura 3. 26 Ubicación geografía del lugar de estudio [29]

Clima del lugar donde se realiza la aplicación del proyecto

El clima en el caserío huambalito es calido y templado, durante todo el año existe presipitaciones hasta el mes mas seco tienen presencia de lluvia la temperatura media es de 13.1°C y la presipitacion es de 663mm al año. [30]

Tabla 3. 32. Datos climáticos históricos [30]

Mes	Precipitación mm	Temperatura máxima °C	Temperatura mínima °C
Enero	32	19,5	7,7
Febrero	48	19,6	8
Marzo	59	18,9	8,1
Abril	68	18,8	8,1
Mayo	70	18,6	8,2
Junio	74	17,3	7,3
Julio	66	17	6,8
Agosto	51	17,5	6,4
Septiembre	53	18,3	6,8
Octubre	55	19,6	7,4
Noviembre	50	20,4	7,3
Diciembre	37	19,9	7,4

3.2.1.2 Cálculo de la evapotranspiración potencial mediante la fórmula de Hargreaves.

Para evaluar la evapotranspiración potencial se requiere solamente de temperaturas y la radiación solar. [31]

$$ET_0 = 0,0135(t_{med} + 17,78)R_s \quad [Ec. 3.2.1]$$

Donde:

ET_0 : Evapotranspiración potencial diaria (mm/día)

t_{med} : Temperatura media (°C)

R_s : Radiación solar incidente, en (mm/día)

La radiación solar R_s se evalúa a partir de la radiación extraterrestre, la que llega a la parte exterior de la atmósfera, a la radiación extraterrestre se lo identifica como R_0 y se encuentra en tablas en función de la latitud del lugar y el mes. [31]

3.2.1.3 Cálculo de la radiación solar incidente R_s

Samani [31] proponen la siguiente fórmula para el cálculo de la radiación solar:

$$R_s = R_0 * KT(t_{max} - t_{min})^{0,5} \quad [Ec. 3.2.2]$$

Donde:

R_0 : Radiación solar extraterrestre, valor interpolado de la tabla de anexo 1.

KT: Coeficiente empírico, basado en la presión atmosférica del punto de análisis con respecto a la presión atmosférica a nivel del mar.

t_{max} : Temperatura máxima

t_{min} : Temperatura mínima

El coeficiente **KT** es un coeficiente empírico por lo cual Hargreaves [31] recomienda valores de $KT=0,165$ para regiones de la sierra y $KT=0,19$ para regiones costeras.

Resolución de la radiación solar incidente R_s , para cada mes del año

$$R_s = R_0 * KT(t_{max} - t_{min})^{0,5} \quad [Ec. 3.2.2]$$

$$R_s = 15,005 * 0,165(19,5 - 7,7)^{0,5}$$

$$R_s = 8,50 \text{ (mm/día)}$$

Tabla 3. 33. Cálculo de la radiación para cada mes del año

Meses	Radiación solar extraterrestre (R_0) mm/día	Temperatura máxima (T_{max}) °C	Temperatura mínima (T_{min}) °C	Radiación solar incidente (R_s) mm/día
Enero	15,005	19,5	7,7	8,50
Febrero	15,437	19,6	8	8,68
Marzo	15,5	18,9	8,1	8,40
Abril	14,93	18,8	8,1	8,06
Mayo	13,99	18,6	8,2	7,44
Junio	13,39	17,3	7,3	6,99
Julio	13,59	17	6,8	7,16
Agosto	14,46	17,5	6,4	7,95
Septiembre	15,13	18,3	6,8	8,47
Octubre	15,36	19,6	7,4	8,85
Noviembre	15,005	20,4	7,3	8,96
Diciembre	14,77	19,9	7,4	8,62

(Fuente: Autor)

Resolución de la evapotranspiración potencial.

$$ET_0 = 0,0135(t_{med} + 17,78)R_s \quad [Ec. 3.2.1]$$
$$ET_0 = 0,0135 * (13,6 + 17,78) * 8,50(\text{mm/día})$$
$$ET_0 = 3,60 (\text{mm/día})$$

Tabla 3. 34. Cálculo de la evapotranspiración potencial para cada mes del año.

Meses	Temperatura promedio (T med) °C	Radiación solar incidente (Rs) mm/día	Evapotranspiración potencial (Eto) mm/día
Enero	13,6	8,50	3,60
Febrero	13,8	8,68	3,70
Marzo	13,5	8,40	3,55
Abril	13,45	8,06	3,40
Mayo	13,4	7,44	3,13
Junio	12,3	6,99	2,84
Julio	11,9	7,16	2,87
Agosto	11,95	7,95	3,19
Septiembre	12,55	8,47	3,47
Octubre	13,5	8,85	3,74
Noviembre	13,85	8,96	3,83
Diciembre	13,65	8,62	3,66

(Fuente: Autor)

3.2.1.4 Cálculo de la evapotranspiración del cultivo (ETc)

El valor de ETc es calculado a través del enfoque del coeficiente del cultivo, donde los efectos de las condiciones del tiempo atmosférico son incorporados en ETo y las características del cultivo son incorporadas en el coeficiente Kc. [33]

Los efectos combinados de la transpiración del cultivo y la evaporación del suelo se integran en un coeficiente único del cultivo (Kc). De acuerdo con la tabla del anexo 2 se tiene un valor de **Kc=1,05** [33]

Por tanto aplicando la siguiente formula se tiene:

$$ET_c = ET_o * K_c \quad [Ec. 3.2.3]$$

Donde:

ET_c: Evapotranspiración del cultivo

ET_o: Evapotranspiración potencial

K_c: Coeficiente de desarrollo del cultivo [33]

**Resolución de la evapotranspiración del cultivo de acuerdo al mes más crítico
Noviembre.**

$$ET_c = ET_o * K_c \quad [Ec. 3.2.3]$$

$$ET_c = 3,83 \frac{mm}{dia} * 1,05$$

$$ET_c = 4,021 \frac{mm}{dia}$$

Cálculo de la dosis de riego (Dr)

La dosis de riego se deduce que es el volumen de agua útil que el suelo es capaz de retener, en la profundidad radicular efectiva de cada cultivo y de la porción de agua útil que cada cultivo permitiría agotarse sin que el potencial productivo se viera disminuido. [33]

$$Dr = f(cc - PMP) * Da * Pr * \frac{10}{Ef} \quad [Ec. 3.2.4]$$

Donde:

Dr: Dosis de riego

f: Humedad disponible

cc: Capacidad de campo

PMP: Punto de marchites

Da: Densidad aparente

Pr: Profundidad de raíces

Ef: Eficiencia del sistema

Cálculo de humedad en el suelo

La capacidad de campo y el punto de marchitez determinan los límites máximo y mínimo de la humedad del suelo que puede ser utilizada por los cultivos. La cantidad de agua comprendida entre estos dos valores se define como agua útil o humedad disponible. [34]

En la tabla 3.35 se escoge los valores de la capacidad de campo, el punto de marchites y la humedad disponible de acuerdo a la textura del suelo, el análisis de suelo realizado se muestra en el anexo 12 donde se indica que el terreno de estudio tiene una textura franco arenoso – limoso, por tanto se escoge los valores de 23%, 9% y 7% respectivamente.

Tabla 3. 35. Factores de cálculo respecto a las características del suelo [34]

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%

Densidad aparente (Da)

En la tabla 3.36 se escoge el valor de la densidad aparente para lo cual se necesita el contenido de arcilla que con tiene el suelo. Este valor se encuentra en el análisis de suelo que se encuentra en el anexo 12. Que nos indica un contenido de arcilla del 6% por lo que se tiene una densidad aparente de $1,6 \text{ g cm}^{-3}$.

Tabla 3. 36. Valores de la densidad aparente [34]

Contenido de arcilla (%)	Densidad aparente (g cm^{-3})
0 - 20	1,6
20 - 30	1,55
30 - 40	1,5
40 - 50	1,45
50 - 60	1,4
60 - 70	1,35
>70	1,3

Eficiencia de riego (Ef)

La eficiencia de aplicación de agua determina directamente la superficie factible de regar sin causar déficit hídrico al cultivo. De la tabla 3.37 se obtiene el valor de la eficiencia del riego por goteo.

Tabla 3. 37. Eficiencia de riego por goteo [34]

Método de riego	Eficiencia de riego (%)
Aspersión	75
Microjet	85
Microaspersión	85
Goteo	90

Profundidad de raíces (Pr)

En las planta de mora las rices crecen horizontalmente y alcanzan una profundidad de entre 30 – 50 cm. [33]

Cálculo de la dosis de riego (Dr). Ecu. 3.2.4

$$Dr = f(cc - PMP) * Da * Pr * \frac{10}{Ef} \quad [Ec. 3.2.4]$$

$$Dr = 0,14(0,23 - 0,09) * 1,60 * 50 * \frac{10}{0,90}$$

$$Dr = 17,42 \frac{m^3}{ha}$$

Cuando *cc* y *Pm* vienen expresados en porcentaje del volumen de suelo, la fórmula sería:

$$Dr = 100 * Pr(cc - PMP)f$$

$$Dr = 100 * 50(0,23 - 0,09) * 0,14$$

$$Dr = 98mm$$

Cálculo del intervalo de tiempo de riego (IR) [33]

$$IR = \frac{Dr}{ETc} \quad Ecu. 3.2.5$$

$$IR = \frac{98mm}{4,021 \frac{mm}{dia}}$$

$$IR = 24,37 dia$$

Se requiere un riego de 24 días en el mes crítico.

3.2.1.5 Cálculo del caudal requerido por el emisor de goteo (Q_e).

Datos:

$$ET_c = 4,021 \frac{mm}{dia}$$

$$1mm H_2O = \frac{1Lt}{m^2}$$

$A_e =$ Area de descarga del emisor

$$A_e = \text{Espacio entre laterales} * \text{Espacio entre emisores}$$

$$A_e = 2m * 1,5m$$

$$A_e = 3m^2$$

$$Q_e = ET_c * A_e$$

$$Q_e = 4,021 \frac{mm}{dia} * 3m^2$$

$$Q_e = 4,021 \frac{\frac{1Lt}{m^2}}{dia} * 3m^2$$

$$Q_e = 4,021 \frac{Lt}{m^2 * dia} * 3m^2$$

$$Q_e = 12,062 \frac{Lt}{hora}$$

Entonces se requiere un diseño ideal del emisor de goteo de $Q_e = 6,031 \frac{Lt}{hora}$ para garantizar que el cultivo de mora se abastecido en 2 horas.

3.2.2 Hidráulica en un emisor de goteo

En la actualidad se ha investigado la dinámica de fluidos en una trayectoria de laberinto con métodos numéricos y experimentales. Sin embargo estos estudios utilizan solo la simulación dinámica de fluidos computacional del flujo dentro de la trayectoria de laberinto. De hecho, el objetivo más importante es la verificación de la presencia de un flujo turbulento. Es bastante difícil medir el número de Reynolds en rutas demasiado pequeñas que están entre 0,5 y 1,5 mm de ancho. Por lo tanto, muchos autores se basan únicamente en los resultados obtenidos en la simulación CFD. [35]

El primer paso es el más complicado para los ingenieros ya que deben considerar al menos cuatro aspectos fundamentales: La dinámica de fluidos, restricciones geométricas y dimensionales, influencia de la geometría en el proceso de fabricación y la elección de los materiales. [35]

Un nuevo diseño comienza con las especificaciones de la dinámica de fluidos, en el cual cada emisor de goteo tiene su caudal de descarga, de acuerdo a su aplicación agrícola. [35]

Las limitaciones geométricas dependen de los diferentes tipos de fabricación, los procesos existentes utilizan una gran variedad de máquinas, por tal motivo se debe ser cuidadoso en la geometría y dimensionamiento. [35]

3.2.3 Cálculo de pérdidas de energía en el lateral del sistema.

Las pérdidas de energía en los laterales de los emisores de riego pueden ser divididas en dos grupos: la pérdida de energía provocada por la fricción y la pérdida de energía producidas por la inserción de los emisores de goteo.

Datos:

$$\text{Caudal } (Q_e) = 6,031 \frac{Lt}{hora}$$

$$\text{Presión } (P_1) = 200Kpa$$

Número de emisores: 1

Para el diseño del emisor se procede a aislar a un solo emisor y una sección pequeña de la manguera para disminuir el gasto computacional.

$$\text{Diametro Mayor } (D_1) = 0,012m$$

$$\text{Diametro Menor } (D_2) = 0,007m$$

$$\text{Longitud } (L) = 0,07m$$

Material: Polietileno de baja densidad, (PEBD) utilizado en instalaciones en redes terciarias y porta emisores de goteo, brinda mayor flexibilidad y es menos frágil que el PVC. Por lo que se utiliza en instalaciones al aire libre.

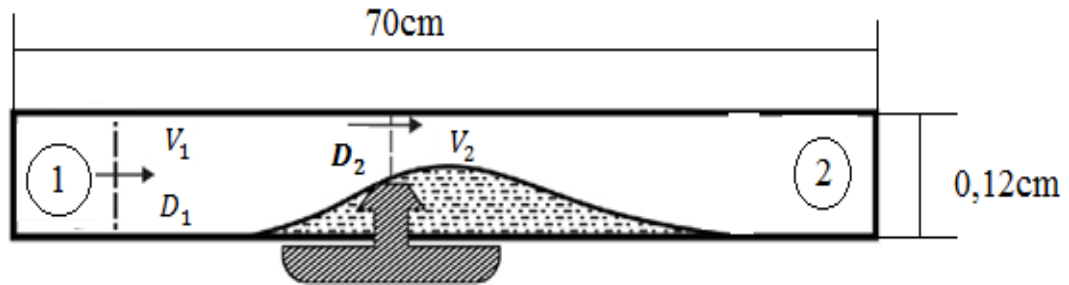


Figura 3. 27. Diagrama de análisis. (Fuente: Autor)

Cálculo del caudal

$$Q_e = 6.031 \frac{Lt}{hora} * \frac{1m^3}{1000Lt} * \frac{1hora}{3600s}$$

$$Q_e = 1,675 \times 10^{-6} \frac{m^3}{s}$$

Cálculo de la velocidad 1

$$Q_e = V_1 * A$$

$$V_1 = \frac{Q_e}{A}$$

$$V_1 = \frac{1,675 \times 10^{-6} \frac{m^3}{s}}{\pi \frac{(0,012m)^2}{4}}$$

$$V_1 = 0,0148 \frac{m}{s}$$

Cálculo del número de Reynolds

$$N_R = \frac{vD\rho}{\eta}$$

$$N_R = \frac{0,0148 \frac{m}{s} * 0,012m * 1000 \frac{kg}{m^3}}{1,78 \times 10^{-3} \frac{N \cdot s}{m^2}}$$

$$N_R = 99,84 \text{ (flujo laminar)}$$

Cálculo de la pérdida de energía por fricción aplicando la ecuación de Darcy.

$$h_l = f \left(\frac{L}{D} \right) \left(\frac{v^2}{2g} \right)$$

Cálculo del factor de fricción

$$f = \frac{64}{N_R}$$

$$f = \frac{64}{99,84}$$

$$f = 0,64$$

Cálculo de la pérdida de energía

$$h_l = f \left(\frac{L}{D} \right) \left(\frac{v^2}{2g} \right)$$

$$h_l = 0,64 \left(\frac{0,07m}{0,012m} \right) \left(\frac{(0,0148m/s)^2}{2(9,81m/s^2)} \right)$$

$$h_l = 0,0000416m$$

Cálculo de la pérdida de carga debido a la inserción de emisores.

$$h_f = k \left(\frac{v^2}{2g} \right)$$

Cálculo del coeficiente k

$$D_1 = 0,012m$$

$$D_2 = 0,007m$$

$$\left(\frac{D_1}{D_2} \right) = \left(\frac{0,012}{0,007} \right)$$

$$\left(\frac{D_1}{D_2} \right) = 1,7$$

$$k = 0,26 \text{ Anexo 3}$$

Cálculo de la velocidad 2

$$V_2 = \frac{Q}{A}$$

$$V_2 = \frac{1,675 \times 10^{-6} \frac{m^3}{s}}{\pi \frac{(0,007m)^2}{4}}$$

$$V_2 = 0.043m/s$$

Pérdida de carga h_f

$$h_f = k \left(\frac{v^2}{2g} \right)$$

$$h_f = 0.26 \left(\frac{(0,043m/s)^2}{2(9.81m/s^2)} \right)$$

$$h_f = 0.000024m$$

Ecuación de energía

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

$$\frac{P_2}{\gamma} = \frac{P_1}{\gamma} - hl - h_f$$

$$P_2 = \gamma * \left(\frac{P_1}{\gamma} - hl - h_f \right)$$

$$P_2 = 9,8KN \cdot m^3 * \left(\frac{200Kpa}{9,8KN/m^3} - 0,0000416m - 0.000024m \right)$$

$$P_2 = 9,8KN \cdot m^3 * (20,408m - 0,0000416m - 0.000024m)$$

$$P_2 = 199,999Kpa$$

3.2.4 Parámetros de diseño del emisor

Los parámetros de entrada, que influyen en el rendimiento de los emisores de goteo se pueden dividir en parámetros geométricos, parámetros de proceso de fabricación y parámetros de funcionamiento, estos parámetros son heterogéneos y con una compleja vinculación. [35]

Los parámetros geométricos son: la forma de la trayectoria, el ancho, la profundidad y el espesor de la tubería.

Los parámetros de proceso son: los prototipos de emisores se fabricara mediante máquinas de prototipado rápido al utilizar este equipo hay muchos parámetros empíricos que se deben tomar en cuenta como: el láser de barrido, espesor de la capa solidificada, el tamaño del punto del láser, la temperatura de la caja y el modo de barrido X, Y, Z, entre otros.

Los parámetros de funcionamiento son: la presión del agua, temperatura del agua y la capacidad de anti obstrucción. Los parámetros de salida son principalmente el caudal de descarga y el tiempo de vida del emisor.

Consideraciones planteadas para el diseño de un emisor de goteo

Este diseño se enfoca principalmente en la geometría, el dimensionamiento y en los parámetros de funcionamiento. Los factores vinculados al tipo de material fueron omitidos por lo que se fijó la construcción en polietileno de alta densidad por el proceso de fabricación 3D del emisor. La temperatura de funcionamiento es temperatura ambiente 23°C y en ausencia de cualquier sedimento de obstrucción. La predicción del caudal de salida se determinara mediante simulación CFD. El flujo en el interior del emisor es considerado como un fluido incompresible y viscosidad constante.

Diseñar el emisor de goteo con un mecanismo que permita el atrapamiento de impurezas mediante simulación numérica.

Parámetros iniciales de funcionamiento.

En la tabla 3.38 se puede observar los valores calculados que se requieren para el análisis CFD.

Tabla 3. 38. Parámetros de funcionamiento

Hidráulica del emisor	
Presión de entrada P_1	200Kpa
Presión de salida P_3	199,999Kpa
Presión atmosférica	72927, 13 Pa
Caudal requerido por el emisor (Q_e)	$6.031 \frac{Lt}{hora}$
Perdidas de carga por inserción del emisores	0.000024m
Perdidas por fricción en el lateral	0,000043m
Rugosidad del material	$3 \times 10^{-7} m$

(Fuente: Autor)

Datos obtenidos del cultivo**Tabla 3. 39.** Requerimientos de agua de la planta de mora

Requerimientos hídricos de la planta de mora	
Evapotranspiración ET_c	$4,021 \frac{mm}{dia}$
Dosis de riego	98mm
Intervalo de riego	24 días
Caudal diario requerido por el emisor (Q_e)	$12,063 \frac{Lt}{dia}$
Temperatura promedio mes de Noviembre	$13,85^\circ C$
Densidad del agua	$1000 \frac{Kg}{m^3}$
Viscosidad dinámica	$1,78 \times 10^{-3} \frac{KG}{m^3}$

(Fuente: Autor)

3.3 Diseño del emisor de goteo mediante simulación numérica.**3.3.1 Simulaciones de los diseños de emisores de goteo**

La simulación CFD se lo realiza mediante el método de volúmenes finitos, para dicha simulación se requiere datos obtenidos en el campo donde se desarrolla el proyecto. En los valores obtenidos influye la ubicación geográfica del lugar, los factores climáticos, tipo de suelo, calidad de agua y las características de la planta.

Descripción de modelado CFD

En la figura 3.27 se describe los pasos ordenados que se debe seguir en un análisis CFD.

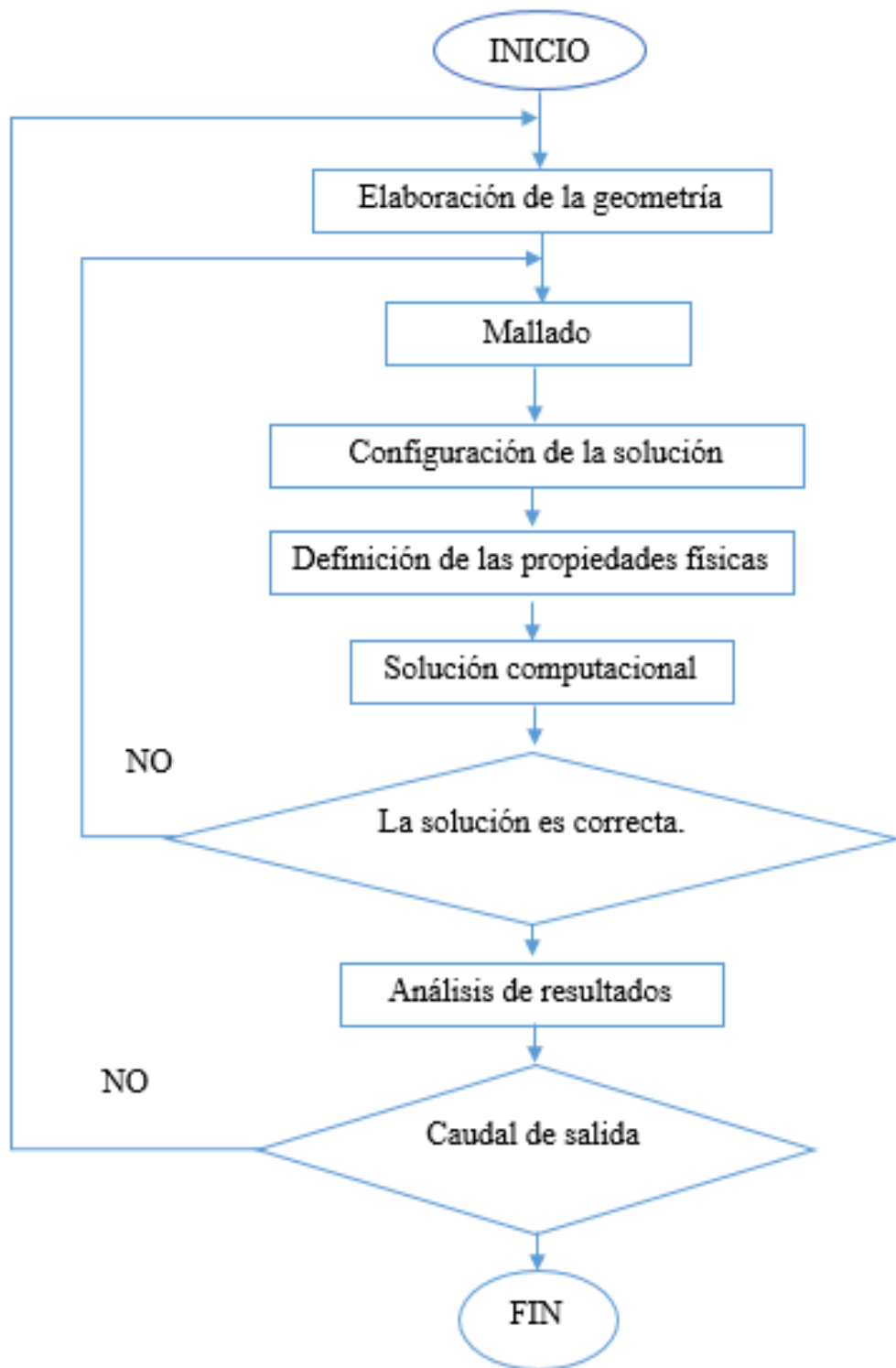


Figura 3. 28. Diagrama de flujo para simulación en CFD. (Fuente: Autor)

Proceso para la simulación CFD

- Para el análisis CFD se utilizó el Project Workbench en cual nos brinda varias opciones para el analisis CFD entre ellos tenemos el CFX y Fluent, para este estudio se utilizo el fluent.

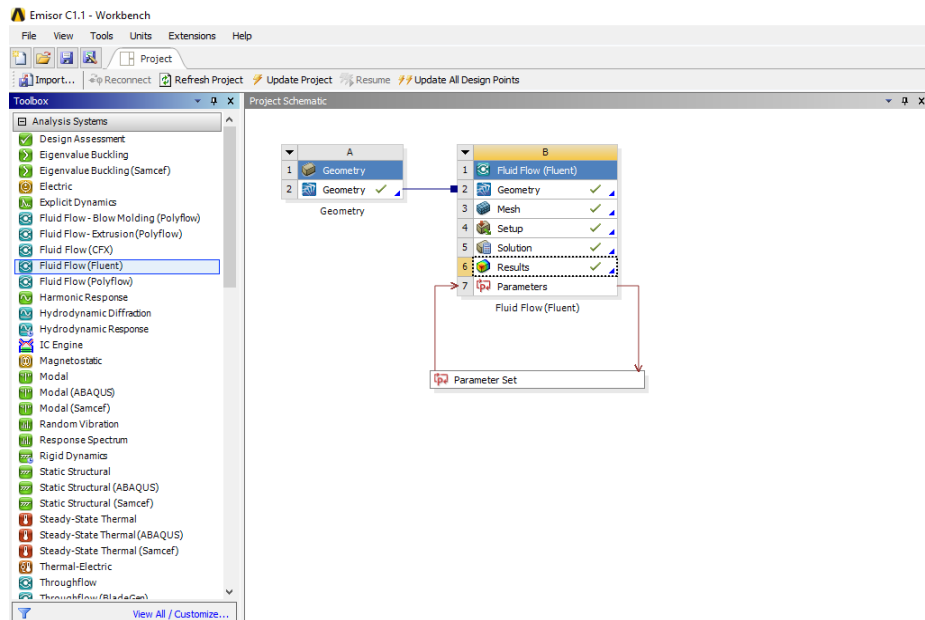


Figura 3. 29. Project Workbench. (Fuente: Autor)

- La construcción de la geometría se lo realiza en programas Cad, para luego ser exportado al ANSYS.

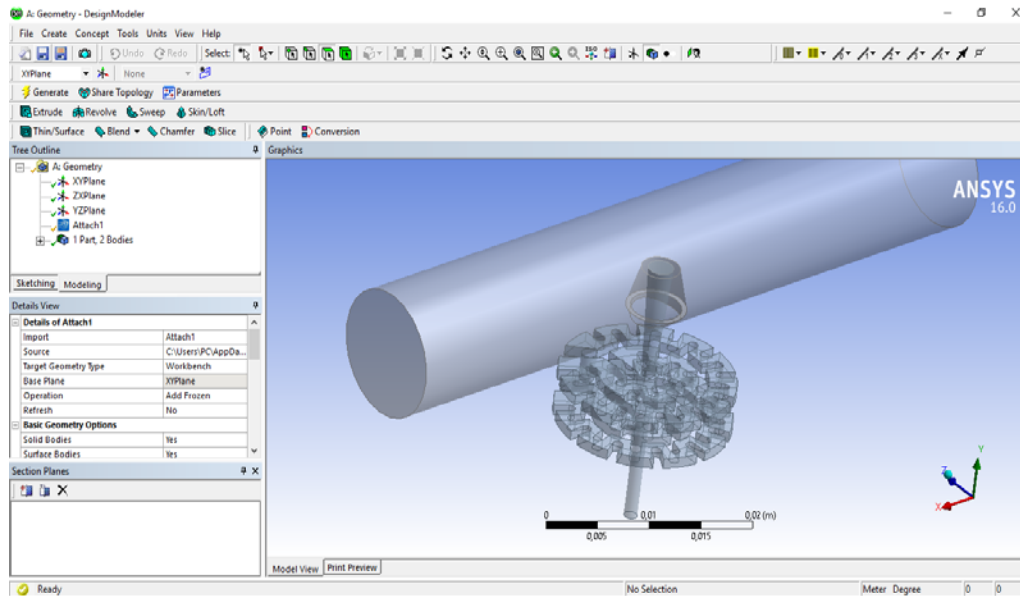


Figura 3. 30. A Geometry DesignModeler. (Fuente: Autor)

- El proceso de mallado se realizó utilizando la opción *inflation* la cual nos permite tener mejores resultados en los analisis.

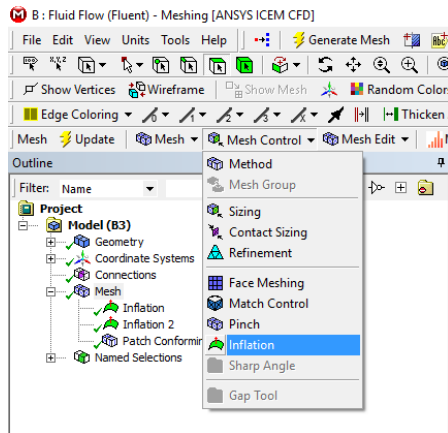


Figura 3. 31. Opción inflation (Fuente: Autor)

- De igual manera en el mallado se utilizó el método de tetraedros para mejorar la calidad de malla

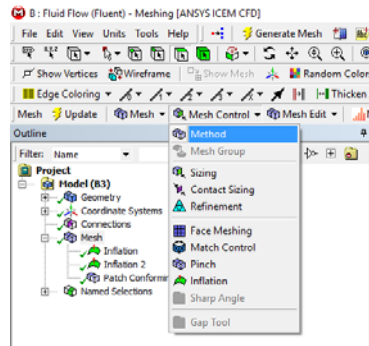


Figura 3. 32. Escoger el método. (Fuente: Autor)

- Malla generada con los parámetros modificados indicados en las figuras anteriores.

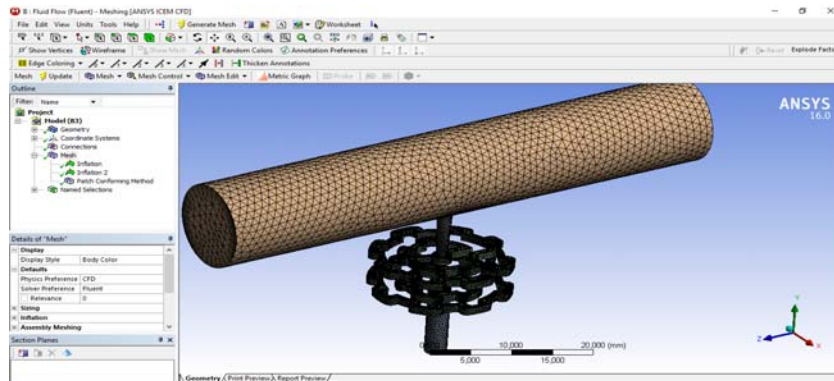


Figura 3. 33. Diagrama de flujo para simulación en CFD. (Fuente: Autor)

- Luego es necesario crear las secciones que van hacer utilizadas para las condiciones iniciales de frontera para el analisis CFD.

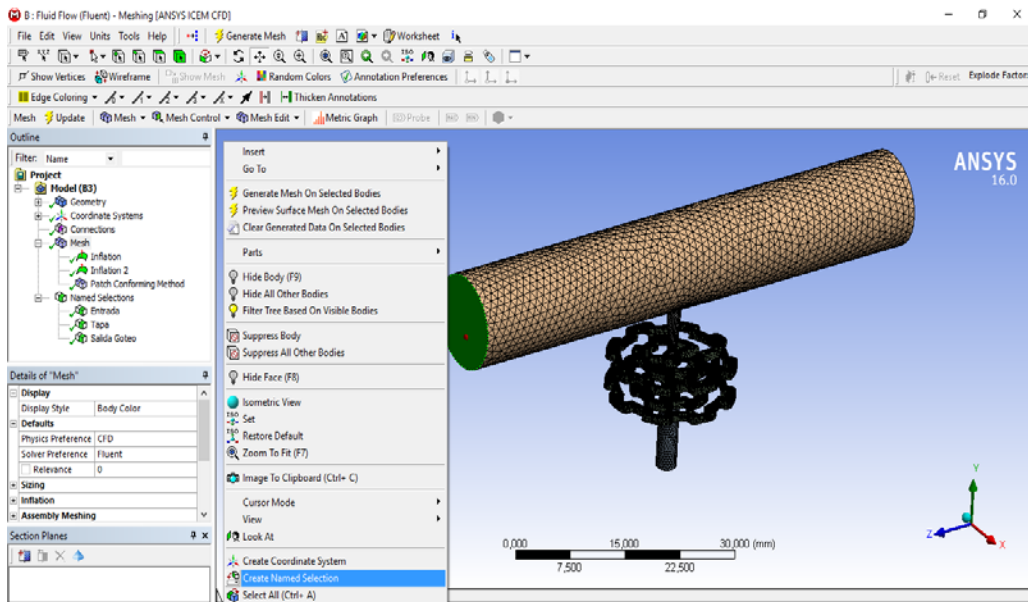


Figura 3. 34. Nombre la sección seleccionada. (Fuente: Autor)

- Configuración de la solución, parámetros requeridos de fluent.

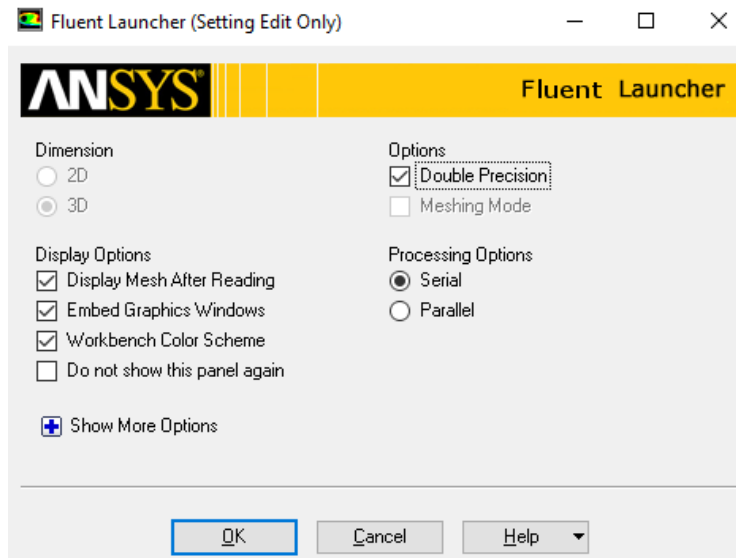


Figura 3. 35. Ventana inicial de *fluent*. (Fuente: Autor)

- La configuración general contiene los parámetros de la formulación de la velocidad absoluta o relativa, solución basa en la presión o la densidad y los tipos de simulación en estado estable o transitorio.

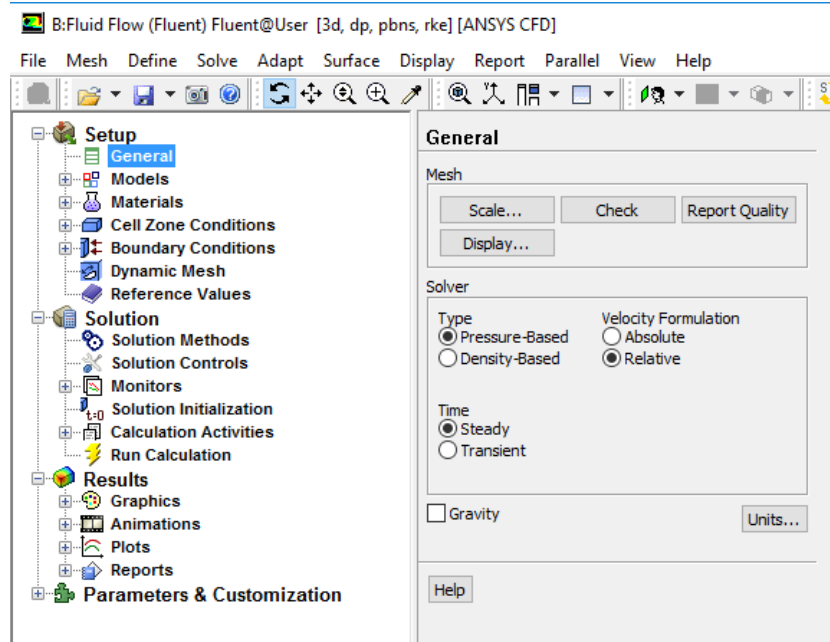


Figura 3. 36. Configuración de los parámetros generales. (Fuente: Autor)

- Los modelos de turbulencia (*viscuit*) contienen diferentes familias de turbulencia entre ellas tenemos, K-epsilon, K-omega, transition SST.

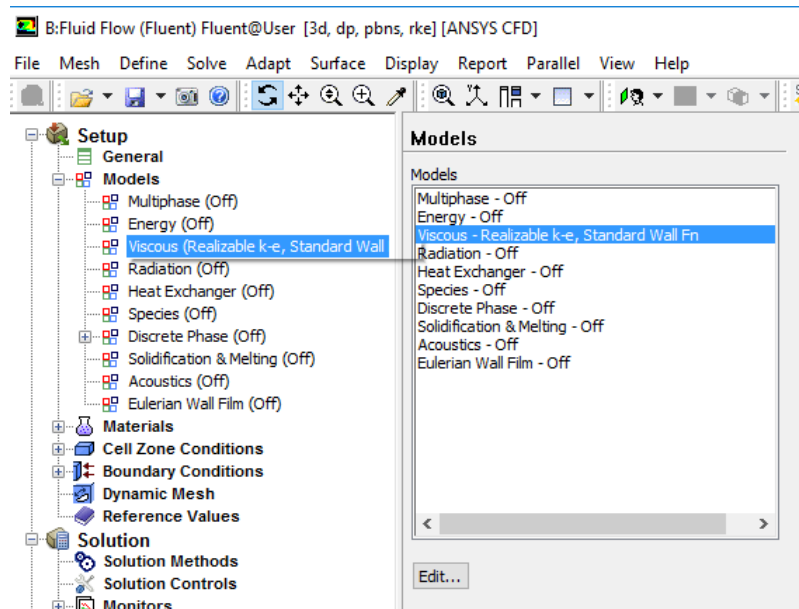


Figura 3. 37. Modelos de turbulencia. (Fuente: Autor)

- Se puede escoger los trataminetos de las regiones cercanas a la superficie (*Near-Wall treatment*) y el modelo de k-epsilon (*k-epsilon model*).

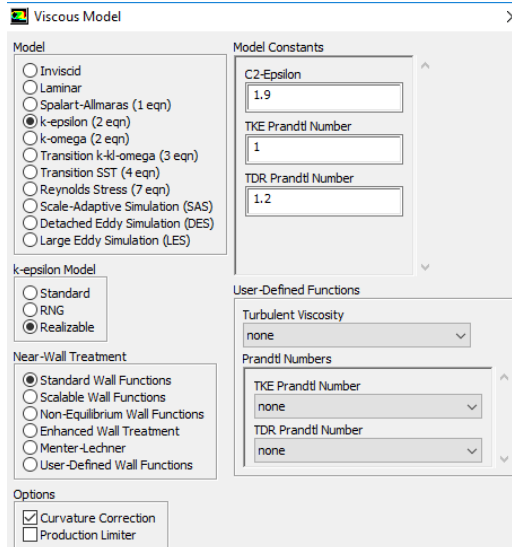


Figura 3. 38. Características de los modelos de turbulencia. (Fuente: Autor)

- Crear el fluido con las características requeridas para el análisis.

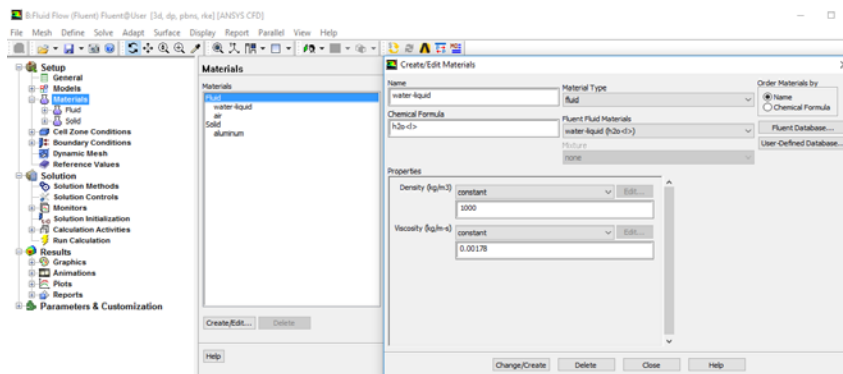


Figura 3. 39. Propiedades del fluido. (Fuente: Autor)

- Condiciones iniciales de frontera presión de entrada (*Pressure inlet*), presión de salida (*Pressure outlet*), identificación de las paredes (*Walls*).

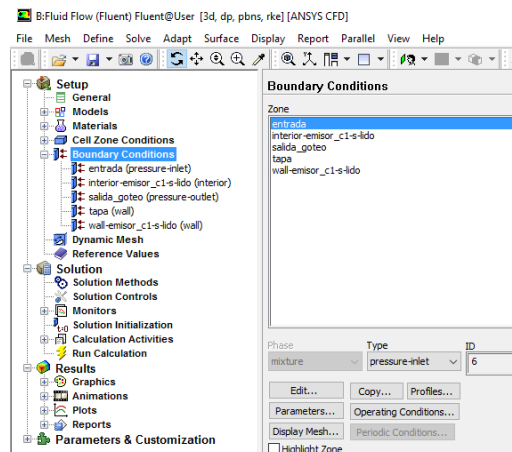


Figura 3. 40. Parámetros de entrada. (Fuente: Autor)

- Configuración del método de solución.

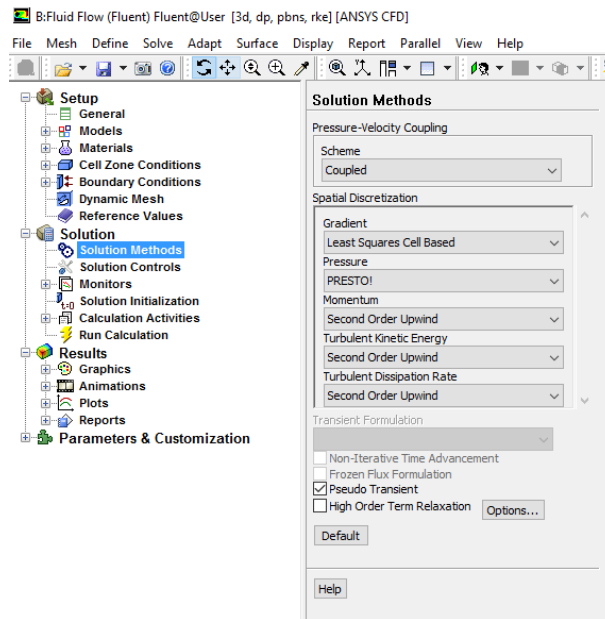


Figura 3. 41. Configuración de la solución. (Fuente: Autor)

- Crear los monitores de verificación de la solución del problema para determinar su convergencia.

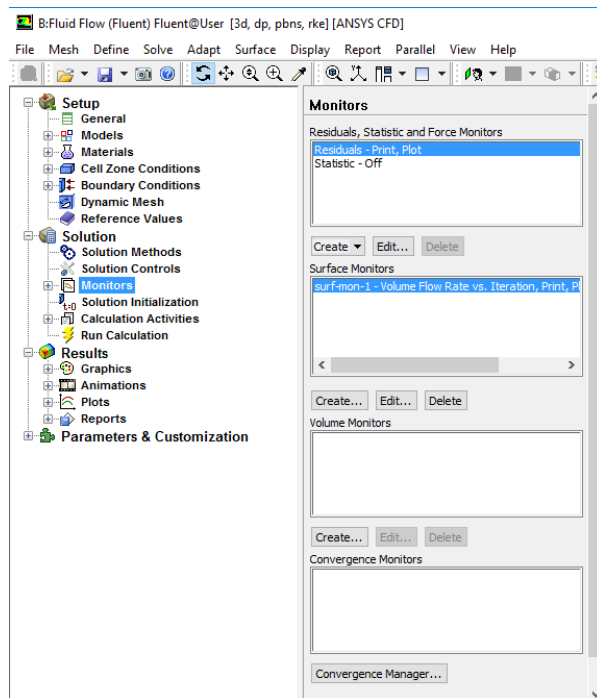


Figura 3. 42. Monitores de rastreo de convergencia. (Fuente: Autor)

- Ingresar un tiempo irreal (*Pseudo time step*) para que el análisis converja en un menor tiempo y la determinación del número de iteraciones del análisis.

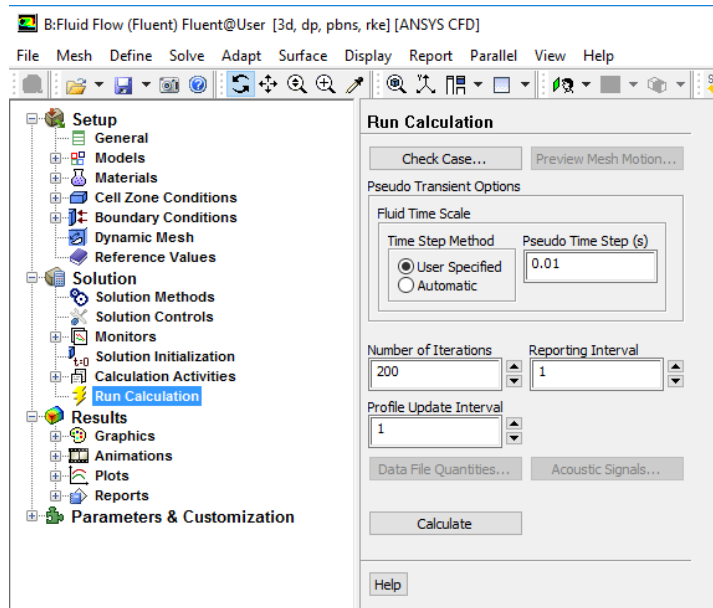


Figura 3. 43. Disminución del tiempo de convergencia. (Fuente: Autor)

- Parametrización de los valores en las secciones más importantes del problema, parámetros de presión.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Name	P1 - parameter-1	P2 - parameter-2	P3 - Caudal de Salida	P4 - Vel. Entra Mang	P5 - Velo. entra emisor	P6 - Velo. Sal. Emisor	P7 - Velo. Labor . Sup.	P8 - Velo. Labor Inf.	P9 - Pres. Sal .Mang.
2	Units	Pa	Pa	m ³ s ⁻¹	m s ⁻¹	m s ⁻¹	m s ⁻¹	m s ⁻¹	m s ⁻¹	Pa
3	DP 0 (Current)	2E+05	0	-2,0696E-06	0,016378	0,81254	0,68782	1,7886	1,6913	2E+05
4	DP 1	50000	0	-9,3007E-07	0,023300	0,3594	0,23249	0,78704	0,73954	50001
5	DP 2	1E+05	0	-1,3972E-06	0,016713	0,54516	0,39021	1,1943	1,1259	1,0002E+05
6	DP 3	1,5E+05	0	-1,7608E-06	0,012914	0,68848	0,55139	1,5162	1,4308	1,5001E+05
7	DP 4	2,5E+05	0	-2,341E-06	0,026144	0,82402	0,78373	2,0326	1,9256	2,5001E+05
8	DP 5	3E+05	0	-2,578E-06	0,027793	1,0236	0,87740	2,2463	2,1417	3E+05
9	*									
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16	Scene									
17										
18										
19										
20										
21										

Figura 3. 44. Resultados de los parámetros ingresados. (Fuente: Autor)

3.3.2 Simulación emisor Rainbow Italy

Geometría de análisis

La primera geometría para el análisis CFD se realizó a partir de un elemento adquirido en el mercado local. Este modelo consta de un laberinto simple por el cual el agua debe circular, la entrada tiene una forma cónica recortada para mejorar la entrada de agua al interior del emisor de goteo. La siguiente figura muestra el modelo digital del emisor de goteo.

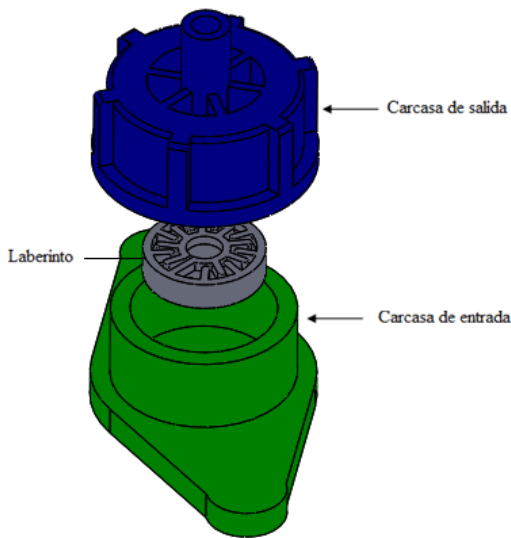


Figura 3. 45. Geometría de las partes del emisor de goteo. (Fuente: Autor)

La siguiente figura muestra el volumen de agua que se genera en el interior del emisor de goteo.

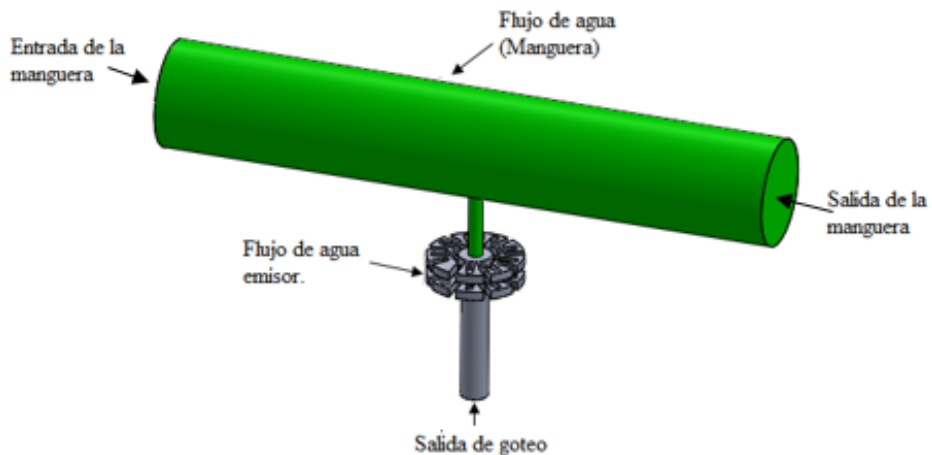


Figura 3. 46.. Geometría del flujo de agua. (Fuente: Autor)

3.3.2.1 Verificación de la calidad de la malla

Malla 1: En esta malla se aplicó un refinamiento (Refinement) en las caras donde se requieren observar los resultados, Un método de adaptación (Patch conforming method) donde se escogió el método de mallado netamente de tetraedros y 3 tamaños de borde (Edge sizing) con diferentes número de divisiones donde el (Patch conforming method) no genera una buen calidad de malla. En las siguientes figuras se muestran la malla generada.

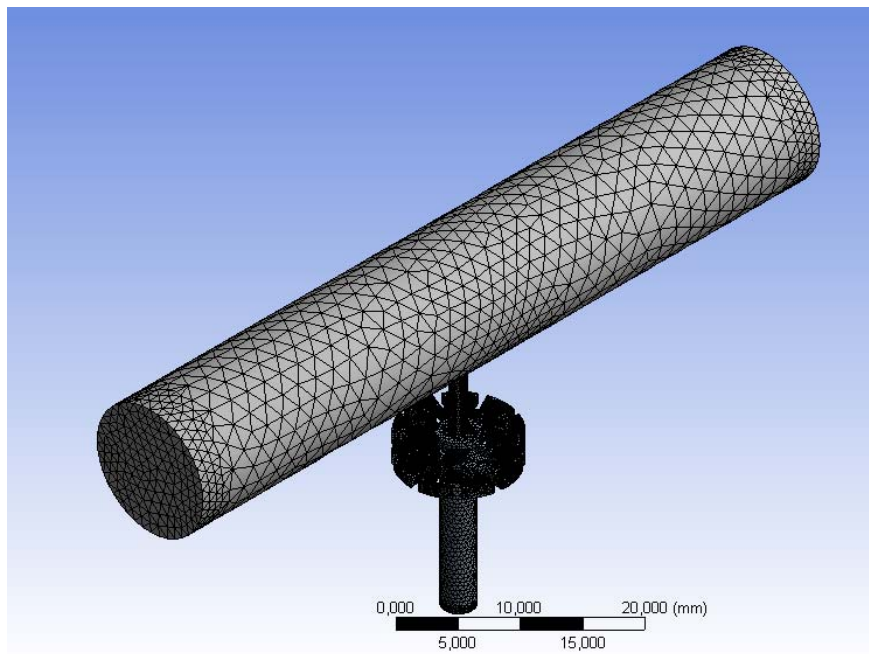


Figura 3. 47. Vista isométrica del mallado 1. (Fuente: Autor)

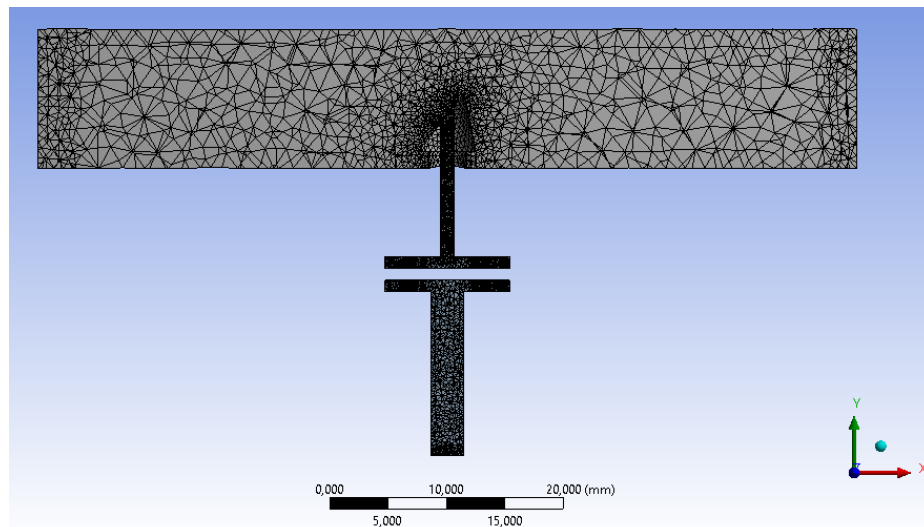


Figura 3. 48. Vista de corte del mallado 1. (Fuente: Autor)

Este mallado consta de netamente de tetraedros tiene un cantidad de 38788 nodos y 174759 elementos. Para la evaluación de la malla tomamos en cuenta los siguientes aspectos: la relación de aspecto (*Aspect Ratio*) y la oblicuidad (*Skewnees*).

Evaluación de la malla

Para este mallado tenemos una relación de aspecto mínimo de 1,1586 y máximo 8,849. Se puede de decir que es una malla aceptable pero los resultados finales del análisis no son muy confiables.

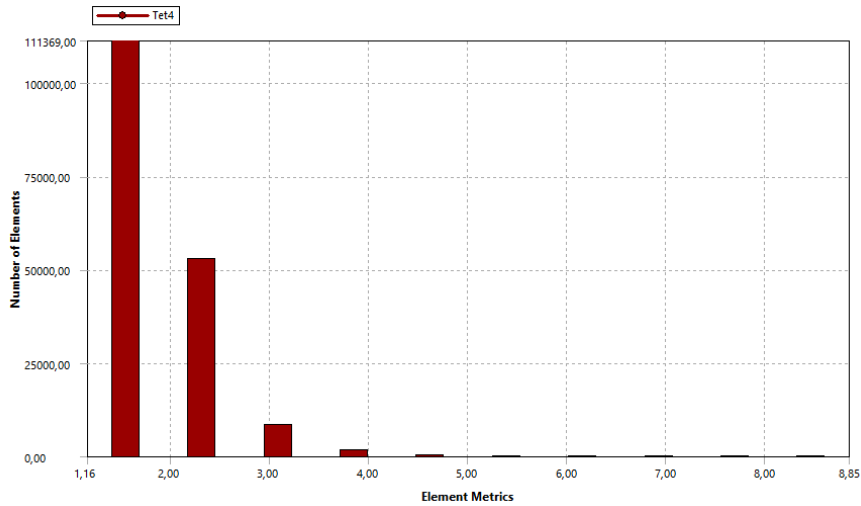


Figura 3. 49. Evaluación de la relación de aspecto (Fuente: Autor)

El mallado 1 tiene una oblicuidad mínima de 0,00000727 y na máxima de 0,919 este valor es aceptable de acuerdo a lo que recomienda el capítulo de teoría. Pero los resultados finales nos dan un error grande.

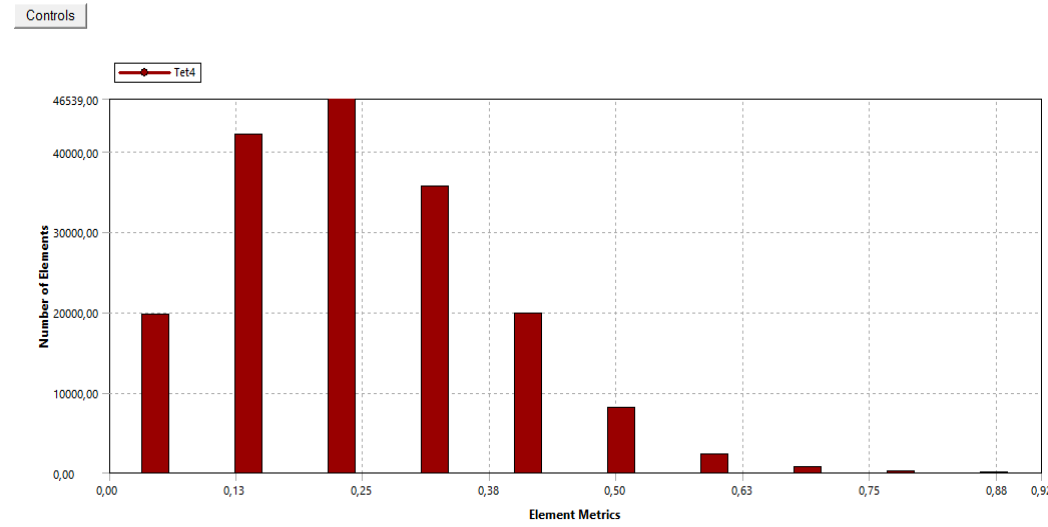


Figura 3. 50. Evaluación de oblicuidad. (Fuente: Autor)

Malla 2: Para esta malla se aplicó un *sizing* el que consta de los siguientes parámetros:

Tabla 3. 40. Parámetros cambiados para el mallado

Use advance size function	Curvature
Relevan center	Coarse
Smoothing	Medium
Min size	0,150mm
Max size	9,60mm

(Fuente: Autor)

En este mallado se aplicó el método denominado Assembly Meshing Cut Cell Hex Dominant algorithm. Este método utiliza un enfoque cartesiano de volumen de mallado, en el que la propagación de las celdas no respeta los límites ni los bordes del dominio o solo que se indique una condición de frontera. En la siguiente figura se puede observar la malla generada.

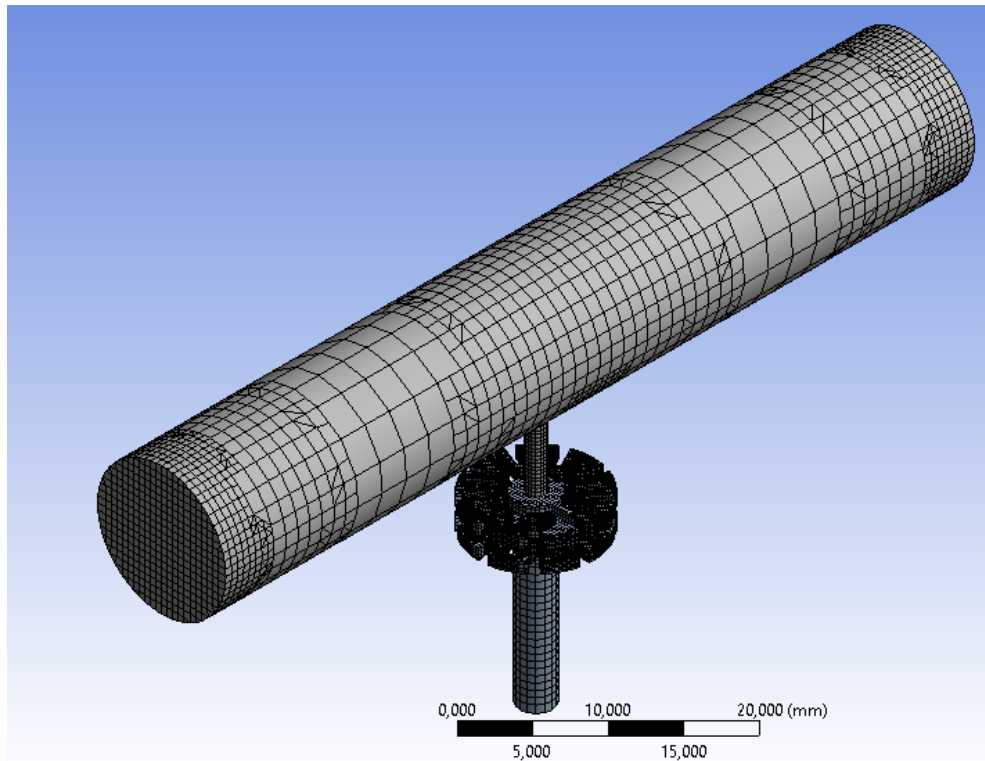


Figura 3. 51. Vista isométrica del mallado 2. (Fuente: Autor)

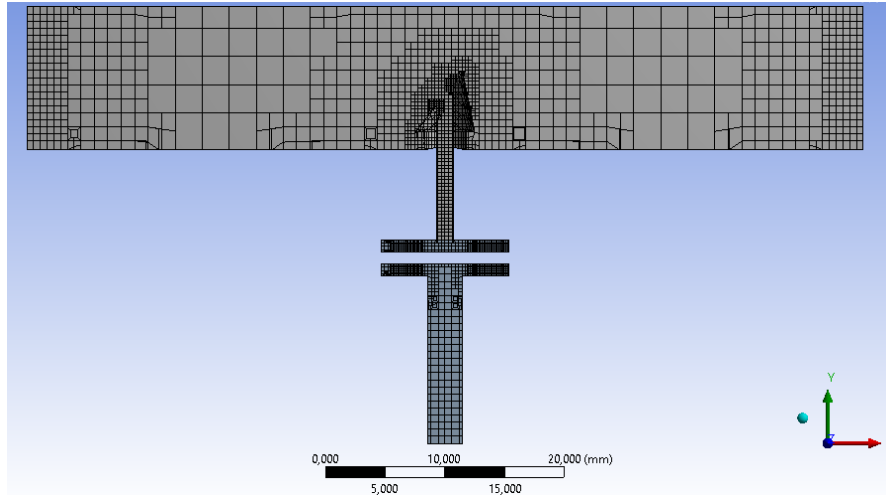


Figura 3. 52. Vista de corte del mallado 2. (Fuente: Autor)

El mallado está formado por hexaedros, prismas de base triangulas y una cantidad de tetraedros. Tiene una cantidad de 62525 nodos y 52375 elementos. Para la evaluación de la malla tomamos en cuenta los siguientes aspectos como es la relación de aspecto (Aspect Ratio) y la oblicuidad (Skewnees).

Evaluación de la malla

Para este caso tenemos una relación de aspecto mínimo de 1,0326 y máximo 21,52. Se puede decir que es una malla aceptable pero los resultados finales del análisis no son muy confiables.

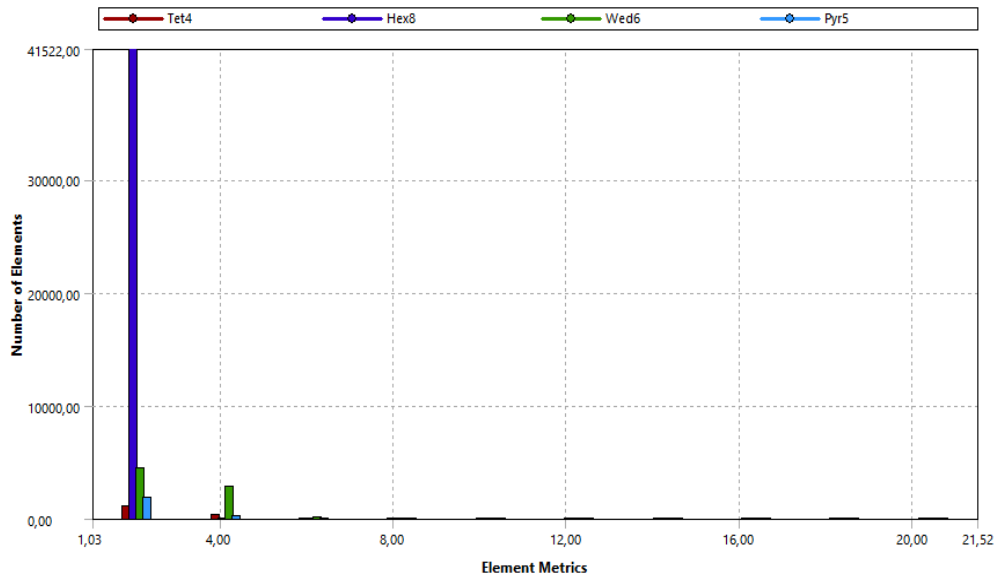


Figura 3. 53. Evaluación de la relación de aspecto. (Fuente: Autor)

El mallado 2 tiene una oblicuidad mínima de $1,305 \times 10^{-10}$ y na máxima de 0,979 este valor es aceptable de acuerdo a lo que recomienda el capítulo de teoría. Pero los resultados finales nos muy aceptables.

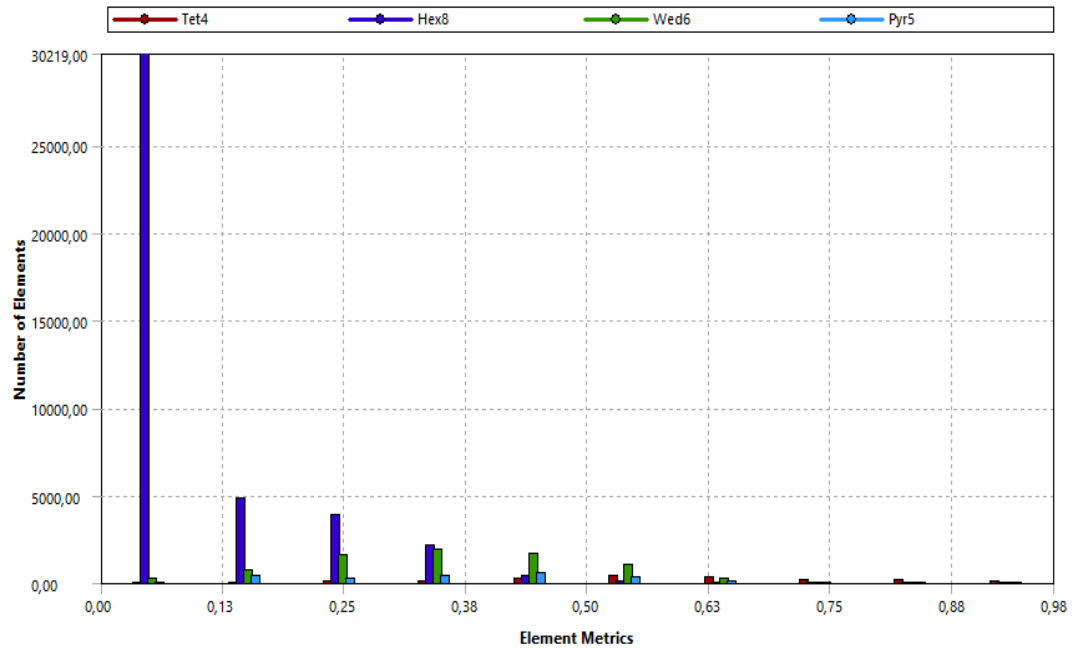


Figura 3. 54. Evaluación de oblicuidad. (Fuente: Autor)

Malla 3: Esta es la malla que nos ha dado mejores resultados, la técnica que se utilizó en este mallado fue la siguiente: el primer paso fue utilizar la opción que nos ofrece ANSYS denominada “Inflation” en la que se crea varias capas de prismas alrededor de una superficie. Luego se aplicó el método de tetraedros para completar el mallado del dominio. En la siguiente tabla podemos ver en detalle los factores utilizados en el mallado.

Tabla 3. 41. Parámetros cambiados en la opción “Inflation”

Inflation Option	Smooth Transition
Transitio ratio	0,3
Max Layers	6
Growth rate	1,1

(Fuente: Autor)

En la siguiente se indican los factores que se cambió para el mallado en la opción Sizing.

Tabla 3. 42. Parámetros cambiados para el mallado

Use advance size function	Proximity and Curvature
Relevan center	Fine
smoothing	High
Min size	0,025mm
Proximity Min	0,025mm
Max Face Size	1mm
Max size	2mm

(Fuente: Autor)

En las figuras 3.54, 3.55 3. 56 se observara diferentes vistas de la malla generada.

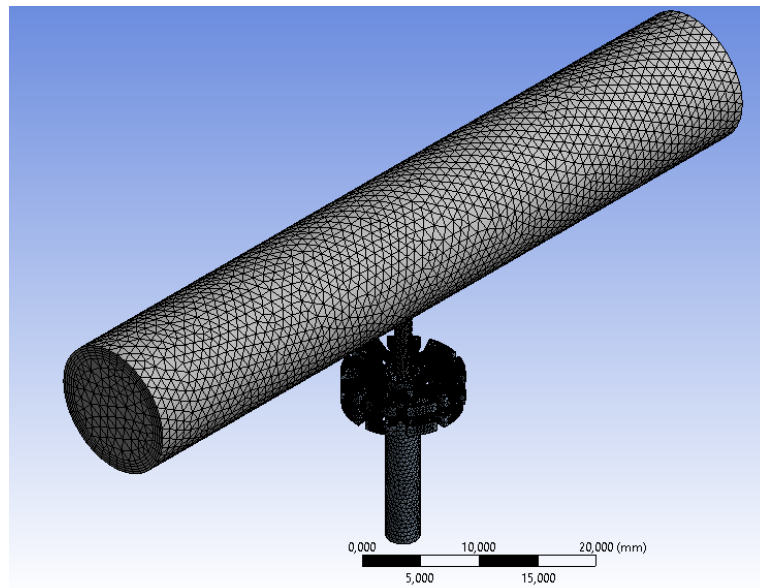


Figura 3. 55. Vista isométrica del mallado 3. (Fuente: Autor)

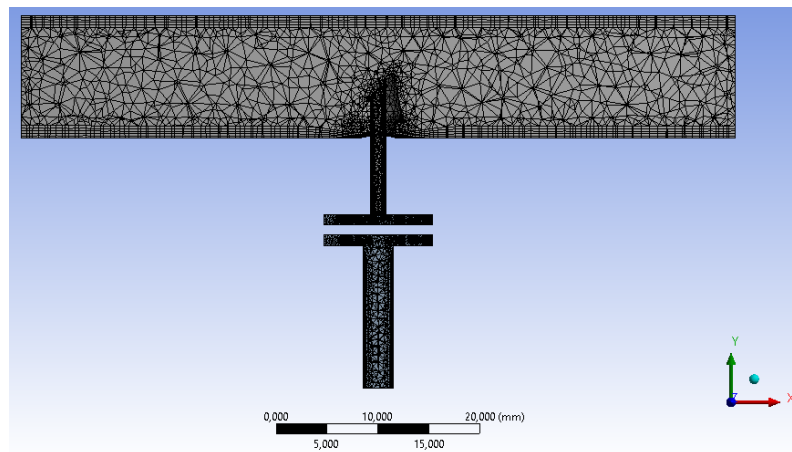


Figura 3. 56. Vista de corte del mallado 3. (Fuente: Autor)

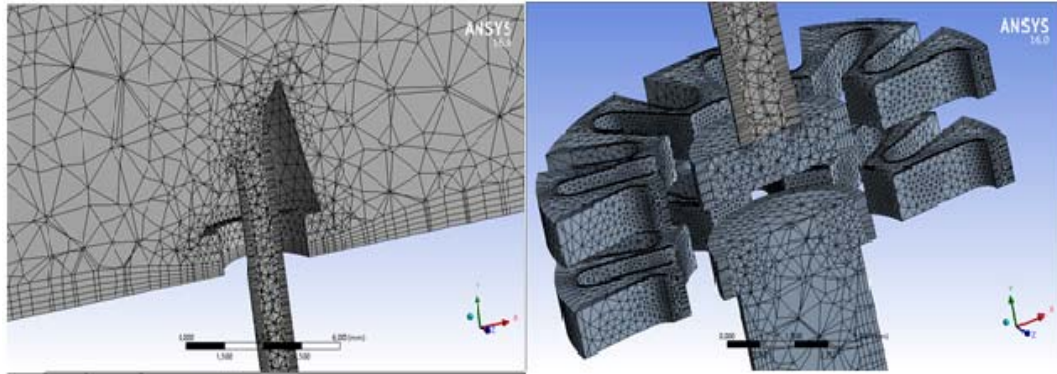


Figura 3. 57. Vista del mallado seleccionado. (Fuente: Autor)

Evaluación de la malla

La malla final consta de 147935 nodos y 386691 elementos, esta gran cantidad de elementos y nodos se debe a que tenemos una geometría compleja. Está formada por tetraedros, hexaedros y prismas de base triangular.

Relación de aspecto: En el capítulo anterior se dijo que un valor aceptable de la relación de aspecto puede ser menor de 50. La relación de aspecto (*Aspect ratio*) en este caso es, mínimo 1,1607y máximo 27,018.

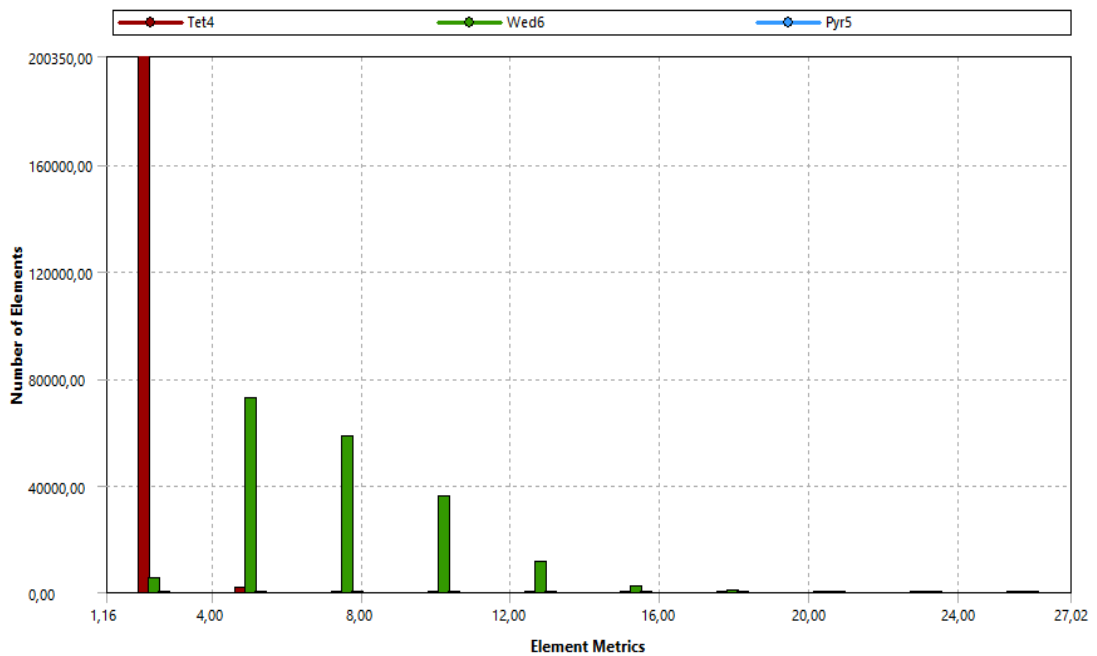


Figura 3. 58. Evaluación de la relación de aspecto. (Fuente: Autor)

Oblicuidad (Skewness): El mallado 3 tiene una oblicuidad mínima de $1,1402e - 4$ y na máxima de $0,92577$ este valor es aceptable de acuerdo a lo que recomienda el capítulo de teoría.

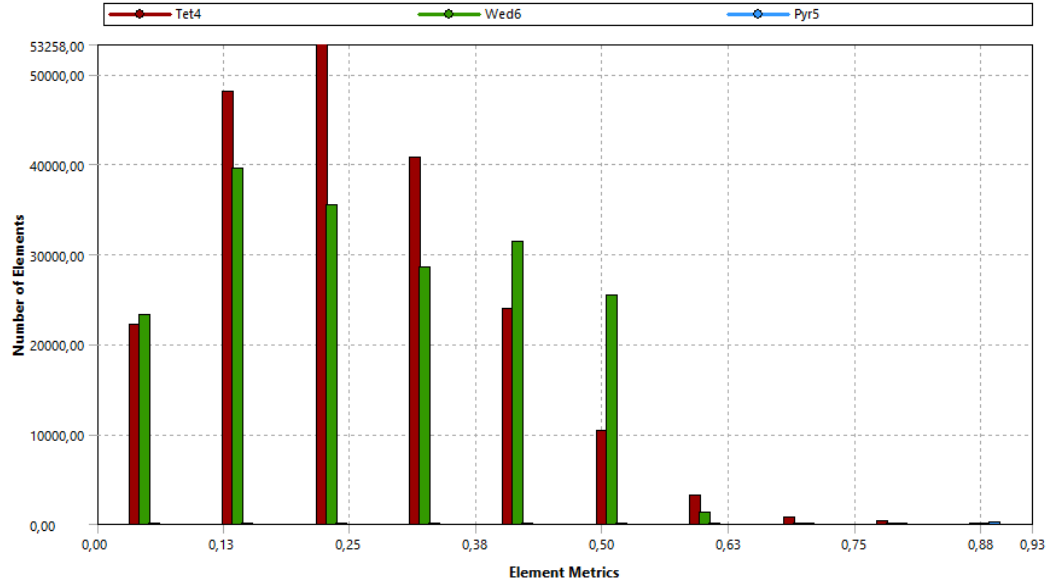


Figura 3. 59. Evaluación de oblicuidad. (Fuente: Autor)

Calidad ortogonal (Orthogonal Quality): En la malla 3 tenemos una calidad ortogonal de malla mínima de $7,4226e-002$ y una máxima de $0,999$ por lo que estos valores se encuentran en el rango recomendado en el capítulo anterior que debe ser menor a 1.

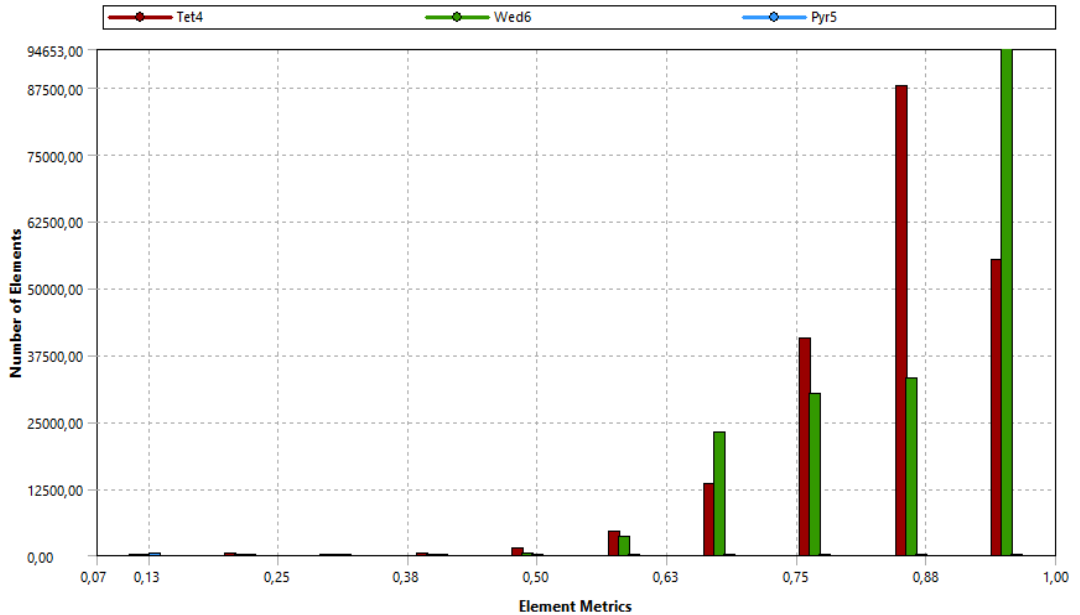


Figura 3. 60. Evaluación de la calidad ortogonal. (Fuente: Autor)

Análisis de las diferentes mallas estudiadas

Tabla 3. 43. Número de ecuaciones utilizadas en cada método

Parámetros	Malla 1	Malla 2	Malla 3
Nodos	38788	62525	147935
Elementos	174759	52375	386691
Relación de aspecto (<i>Aspect Ratio</i>)	1,1586 min. 8,849 máx.	1,0326 min. 21,52 máx.	1,1607 min. 27,018 máx.
Oblicuidad (<i>Skewness</i>)	7,27e-6 min 0,919 máx.	1,305e-10 min 0,979 máx.	1,1402e-4 min 0,9257 máx.

(Fuente: Autor)

En la malla 1 no se aplicó ningún refinamiento por tal motivo tiene una cantidad mínima de elementos y nodos, tiene una relación de aspecto baja, máxima de 8,849 pero los elementos cercanos a la pared son demasiado grandes por lo que los resultados obtenidos no son aceptables al comparar con las mediciones. En el mallado 2 se aplicó un método de mallado diferente que presento una malla discontinua a pesar que tiene una relación de aspecto máxima de 21,52 sus elementos no presentan uniformidad por tal motivo no se consideró aceptada. El mallado es la de mayor número de elementos y nodos por la aplicación de refinamientos en la pared y en las zonas donde se requieren obtener los resultados este mallado tiene una relación de aspecto de 27,018 y una oblicuidad máxima de 0,92. Esta malla presenta una buena uniformidad.

3.3.2.2 Configuración de la solución

Formulación de la velocidad absoluta o relativa

La velocidad absoluta se prefiere en aplicaciones en las que el flujo en la mayor parte del dominio no está en movimiento, por ejemplo una habitación grande con un pequeño ventilador. Mientras que la velocidad relativa se prefiere en aplicaciones cuando la mayor parte de fluido en el dominio está en movimiento. [18]

Precisión simple y precisión doble

Cuando existen geometrías de longitud de escalas muy dispares, los cálculos de precisión simple no son adecuados. Para representar las coordenadas de los nodos es necesario doble precisión, también se aplica en geometrías que implican múltiples encierros conectados a través de tubos de pequeño diámetro. Por lo tanto pueden ser necesarios para resolver las diferencias de presión que impulsan el flujo de cálculo de doble precisión. [18] Por cuanto en este trabajo se utilizó (*Double precisión*).

Solución basa en la presión (*Pressure - Based*)

Este proceso de solución se utilizó en el presente trabajo, el cual emplea un algoritmo que pertenece a una clase general de métodos llamados el método de proyección, en el que la restricción de la conservación de la masa (continuidad) del campo de velocidad se consigue mediante la resolución de la ecuación de la presión o la correlación de la presión. [18]

Puesto que las ecuaciones que gobiernan son no lineales y acopladas entre sí, el proceso de solución implica iteraciones en el que todo el conjunto de ecuaciones que gobiernan se resuelven varias veces hasta que la solución converge en la figura 3.60 se muestra el proceso del *solver* acoplado. [18]

Pressure – Based Couple Algorithm

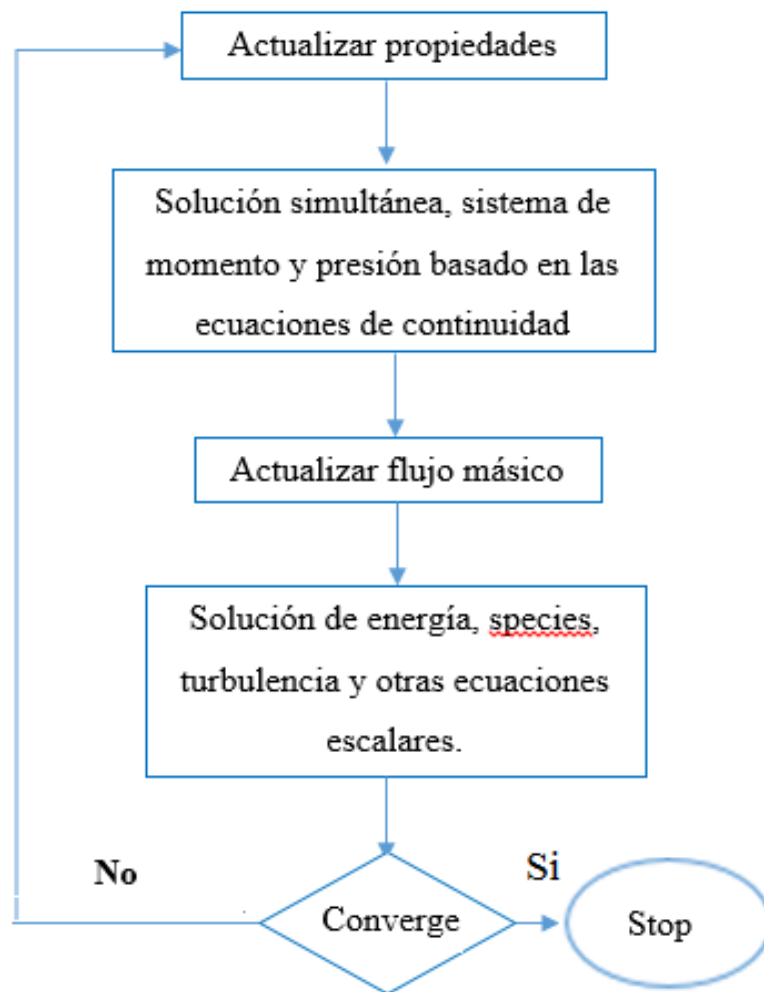


Figura 3. 61. Diagrama de flujo de la solución basada en la presión. [36]

3.3.2.3 Configuración (*Setup*)

Modelos de turbulencia (Viscuit)

Los fluidos estacionarios turbulentos se han investigado durante décadas por lo que se ha desarrollado varios métodos para predecir el flujo turbulento. Existen tres métodos:

- 1) Modelos para las ecuaciones de RANS (Reinolds Averaged Navier-Stokes). Está focalizado en el fluido principal y la magnitud en el desarrollo de las fluctuaciones del flujo turbulento. [18]
- 2) Large Eddy Simulation (LES). Este sería como el término intermedio del cálculo de la turbulencia en que representa el comportamiento de los eddies de mayor escala. [18]
- 3) Direct Numerical Simulation (DNS). Esta técnica es capaz de resolver todo tipo de fluctuaciones de flujo principal. El uso de esta técnica solo está reservado para investigaciones de alto nivel con supercomputadores. [18]

Turbulencia basada en las ecuaciones RANS (Reinolds Averaged Navier-Stokes). Entre ellos tenemos los siguientes:

- **Familia $k - \epsilon$:** Con este caso se presentan las variantes Estándar, RNG, Realizable. El modelo RNG tiene un término adicional en la ecuación que mejora la precisión de los flujos forzados. El modelo $k - \epsilon$ realizable contiene una formulación alternativa de la viscosidad turbulenta. [36]
En cuanto al tratamiento cercano a la pared estos modelos presentan la opción de aproximar efectos producidos por la capa límite “*Wall Fuction*” o de resolverlos detalladamente “*Enhanced Wall Treatment*”. [36]
- **Familia $k - \omega$:** En este caso se presentan las variantes Estándar y SST. El modelo estándar incorpora modificaciones de número bajo de Reynolds, compresión, cizalladura y el flujo de difusión. el modelo SST se basa en el acoplamiento de las ecuaciones de transporte SST con otras dos ecuaciones, una para la intermitencia y la otra para los criterios de inicio. [36]
- **V2F Model y Reynolds – Stress Model:** Estos modelos presentan características similares a los anteriores métodos hablados, pero no tienen aplicación práctica [36]

Tabla 3. 44. Número de ecuaciones utilizadas en cada método [34]

Numero de ecuaciones extras	Modelo
Una	Spalart - Allmaras
Dos	$k - \varepsilon$ (Estándar, RNG y Realizable)
	$k - \omega$ (estándar y SST)
Siete	Reynolds Stress

En este estudio se ha empleado el modelo $k - \varepsilon$ realizable, donde el problema inicial se resuelve a partir de una formulación de ε más compleja. De igual manera las fuentes bibliográficas recomiendan su utilización por su buen funcionamiento frente al modelo RNG. [18]

Tratamiento de regiones cercanas a la superficie

El modelo $k - \varepsilon$ empleado ofrece varios tratamientos siendo el de función estándar en la en la pared “Standar Wall Fuctions” escogido en este trabajo. Los “Wall - fuction” hacen una fiel representación del fenómeno real, por tal motivo se escoge en la solución de este trabajo.

Condiciones iniciales de frontera

Con la malla final designada se realizó 3 simulaciones con geometrías distintas cada simulación consta de 6 parámetros diferentes pero planteadas de igual manera. El emisor de goteo se instaló en un banco de pruebas para medir su capacidad de funcionamiento. Las condiciones iniciales impuestas para la simulación se calcularon en el objetivo anterior.

Las diferentes geometrías simuladas se detallan su nombre en la siguiente tabla.

Tabla 3. 45. Casos de simulación

Nombre	Geometría	Presión de entrada
Emisor Rain Bow Italy	Laberinto simple	200 Kpa
Emisor A	Doble laberinto	200 Kpa
Emisor B	Laberinto estrella	200 Kpa
Emisor C	Laberinto individual	200 Kpa

(Fuente: Autor)

Hay que tomar en cuenta que el dominio es una geometría 3D pero el coste computacional para nuestro estudio es reducido. El contorno exterior del dominio, FLUENT lo reconoce como una superficie (Wall). La entrada tanto como la salida se debe generar en el proceso de mallado.

Tabla 3. 46. Parámetros de las condiciones de frontera impuestas

Identificación frontera/contorno	Tipo	Condiciones fijadas
Pared	Wall	Pared fija (Por defecto)
Entrada del dominio	Pressure Inlet	Intensidad turbulenta
		Presión 1 de entrada
Salida del dominio 1	Pressure Outlet	Presión 2 de salida
Salida de goteo	Pressure Outlet	Intensidad turbulenta
		Presión atmosférica

(Fuente: Autor)

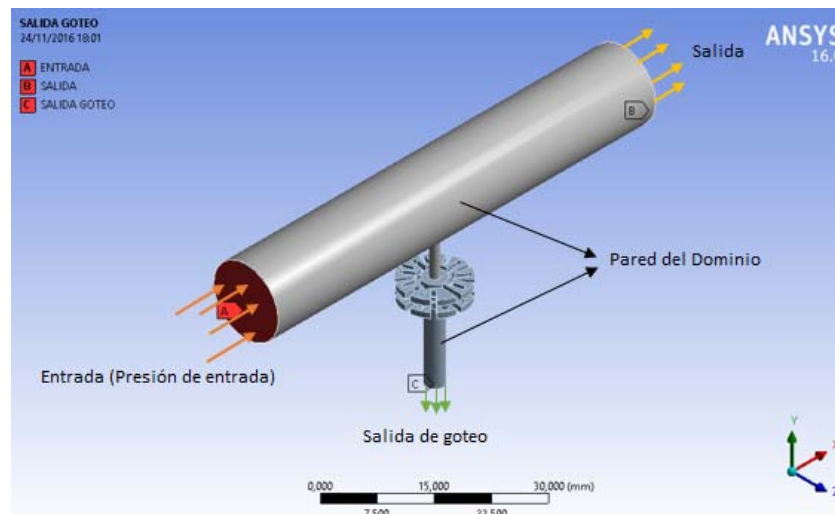


Figura 3. 62. Vista general de dominio con las condiciones de frontera. (Fuente: Autor)

Tipos de simulación

Existen dos tipos de simulación: estacionaria (*Steady state*), y en tiempo real (*transient*). En estado estable debido a que la formulación en el *solver* es robusta y totalmente implícita, normalmente se aplica un escalado de tiempo para alcanzar la convergencia más rápido. En simulaciones de estado transitorio, el *solver* resuelve las ecuaciones en intervalos de tiempo. Para conseguir la convergencia se establece un número de iteraciones por ciclo. [18]

Simulación en estado estable (*Steady state*)

Para este trabajo se utilizó la simulación (*Steady state*) en todos los casos, para el cálculo de las ecuaciones diferenciales en derivadas parciales dependientes del tiempo, se utilizó el método *Pseudo-Transient* existente en FLUENT.

Este método consiste en hacer una discretización “falsa” del tiempo además del espacio en las ecuaciones para simulaciones estacionarias. El valor del tiempo inicial se ha especificado de 0,01 segundos como recomienda la bibliografía [36]. De esta manera las simulaciones se rigen por un comportamiento transitorio en las primeras iteraciones hasta alcanzar un comportamiento estacionario aproximado.

En la bibliografía [18]. Hace referencia a T. S. Coffey, C. T. Kelley, D. E. Keyes donde dice que esta técnica de cálculo implícito no lineal para soluciones en estado estacionario en la actualidad son popular en diferentes campos de la ingeniería, debido a que los métodos convencionales a menudo pueden converger a una solución física irreal.

Convergencia

Para todas las simulaciones de este trabajo se siguió el mismo criterio de convergencia.

- **Residuales escalados:** el criterio estándar de convergencia utilizado por FLUENT se aplica cuando los residuales van decreciendo en cada iteración hasta llegara valores del orden de 10^{-3} , aceptado por la mayoría de problemas. [18] Por lo tanto en este trabajo se considera este valor como indicador de convergencia.
- **Balance de flujo volumétrico:** Este es un criterio importante al momento de decidir el número de iteraciones para conseguir convergencia en la solución, se monitorio el flujo volumétrico en la salida de goteo en el cual se puede observar como el flujo se va volviendo estacionario a medida que aumenta las iteraciones.

La figura 3.62 se puede observar la convergencia residual del emisor de goteo Rainbow Italy adquirido en el mercado local.

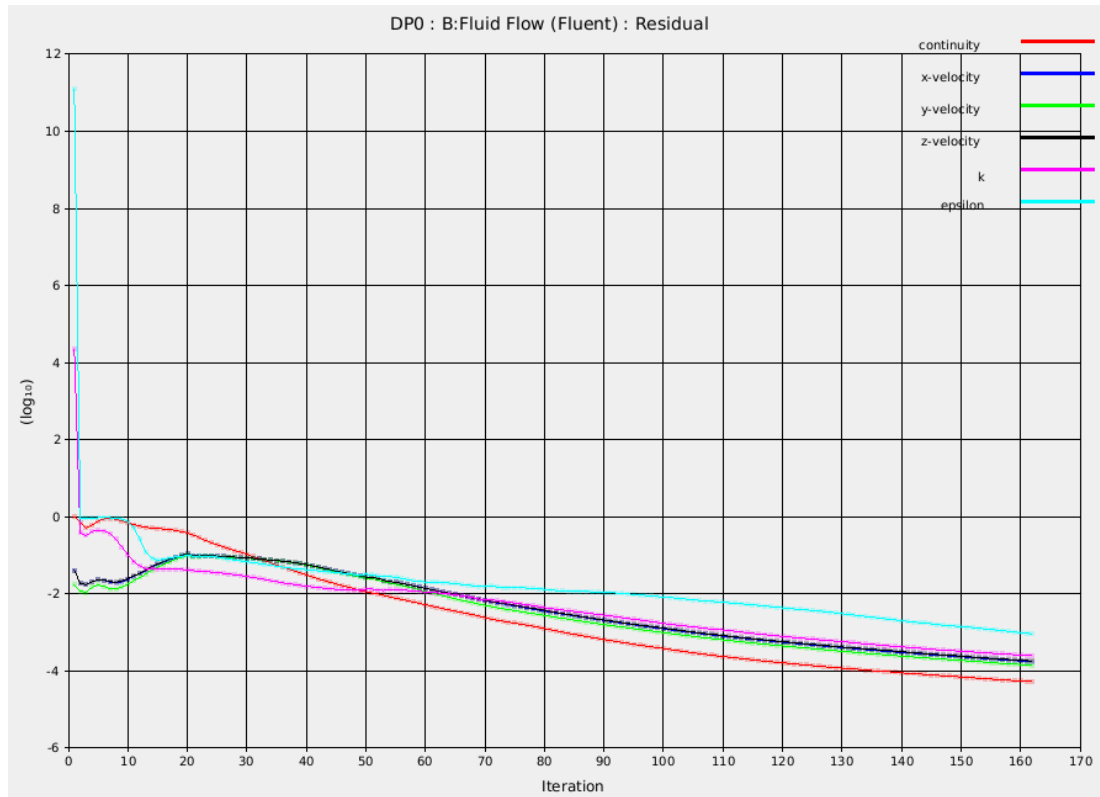


Figura 3. 63. Convergencia con residuales escalados. (Fuente: Autor)

En la figura 3.63 se detalla la convergencia con balance de flujo volumetrico donde a medida que el número de iteraciones avanza el flujo es constante.

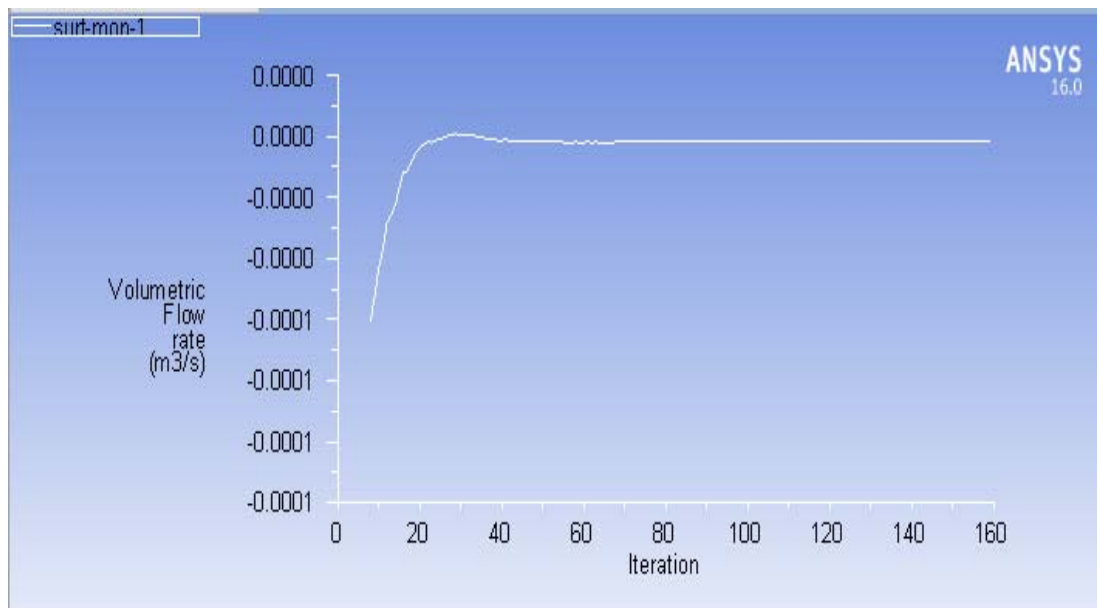


Figura 3. 64. Convergencia con Balance de flujo volumétrico. (Fuente: Autor)

En la figura 3.64 se observa que las iteraciones del problema se detiene cuando este llega a converger.

148	1.4605e-04	4.0125e-04	3.2640e-04	4.0963e-04	4.5646e-04	1.1860e-03
149	1.4795e-04	4.4294e-04	3.4135e-04	4.4148e-04	4.6671e-04	1.2065e-03
150	1.4534e-04	4.4212e-04	3.3709e-04	4.4084e-04	4.7072e-04	1.2354e-03
iter	continuity	x-velocity	y-velocity	z-velocity	k	epsilon
151	1.5646e-04	4.2981e-04	3.6228e-04	4.3727e-04	4.8015e-04	1.1534e-03
152	1.5391e-04	4.3001e-04	3.4644e-04	4.3120e-04	5.0558e-04	1.2874e-03
153	1.5577e-04	4.7592e-04	3.5661e-04	4.8836e-04	4.9834e-04	1.2409e-03
154	1.5164e-04	4.7576e-04	3.4913e-04	4.5269e-04	4.9500e-04	1.3031e-03
155	1.6149e-04	4.2842e-04	3.6285e-04	4.5839e-04	4.7609e-04	1.1067e-03
156	1.5563e-04	4.2996e-04	3.3971e-04	4.0751e-04	4.9921e-04	1.2780e-03
157	1.4994e-04	4.5140e-04	3.3358e-04	4.7660e-04	4.6355e-04	1.1103e-03
158	1.4559e-04	4.4925e-04	3.2643e-04	4.1403e-04	4.7484e-04	1.2746e-03
! 159	solution is converged					
159	1.4480e-04	3.9671e-04	3.2879e-04	4.2325e-04	4.2415e-04	9.8572e-04

Figura 3. 65. Convergencia con el número de iteraciones. (Fuente: Autor)

3.3.2.4 Resultados del análisis CFD

En la figura 3.65 se muestran los puntos seleccionados para el análisis de CFD. Estos puntos se consideran importantes ya que es donde el flujo experimenta grandes cambios de velocidad, presión y turbulencia lo que nos permite analizar el elemento de mejor manera.

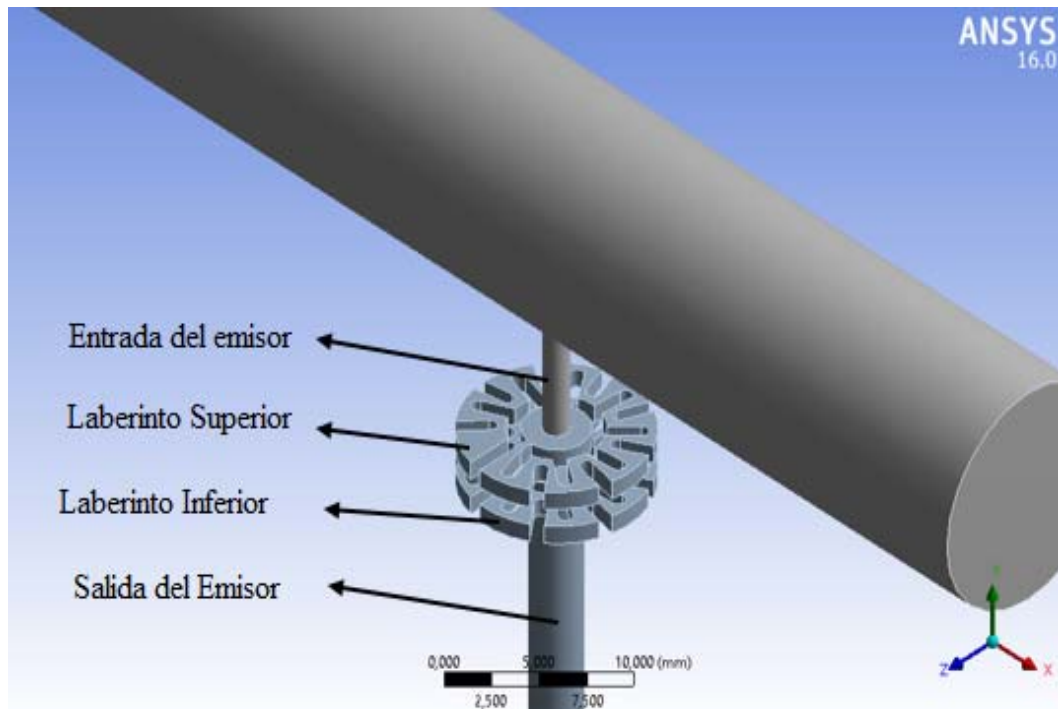


Figura 3. 66. Puntos de análisis. (Fuente: Autor)

3.3.2.4.1 Contornos de Velocidad emisor Rainbow Italy adquirido.

A continuación se observa los contornos de velocidad del emisor Rainbow Italy adquirido en el mercado, generados en cada una de las secciones consideradas como más importantes en este estudio las cuales están explicadas en la figura 3.65.

- Contorno de velocidad en la entrada del emisor de goteo, donde se aprecia una velocidad máxima 0.9711 m/s en el centro de la sección y velocidad mínima de 0 m/s junto a la pared.

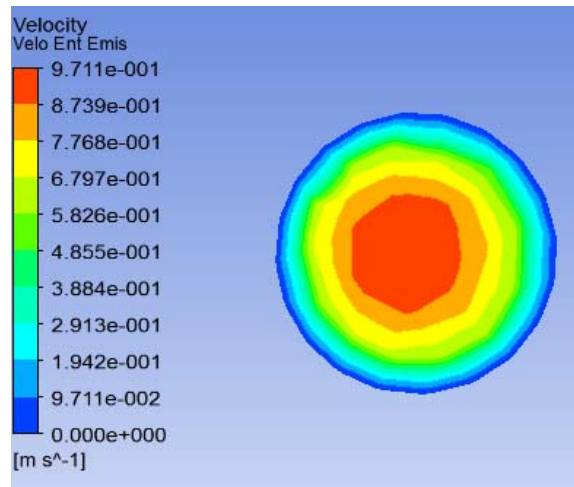


Figura 3. 67. Contorno de velocidad en la entrada del emisor. (Fuente: Autor)

- Contorno de velocidad en laberinto superior por donde el agua hace su primer recorrido. Se observa el aumento de la velocidad maxima a 5.165 m/s y minima de 0 m/s junto a la pared al ingresar al laberinto.

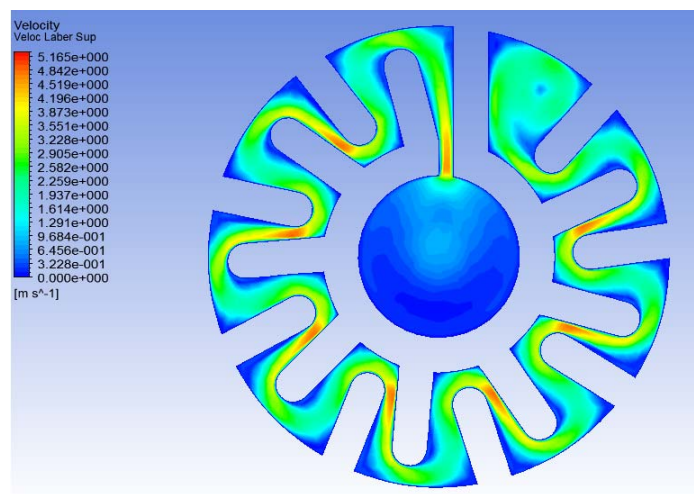


Figura 3. 68. Contorno de velocidad laberinto superior. (Fuente: Autor)

- Contorno de velocidad en el laberinto inferior de igual manera tenemos una velocidad máxima de 5.165 m/s y mínima de 0 m/s junto a la pared, pero en la salida del laberinto tenemos baja velocidad aproximadamente de 0.96 m/s.

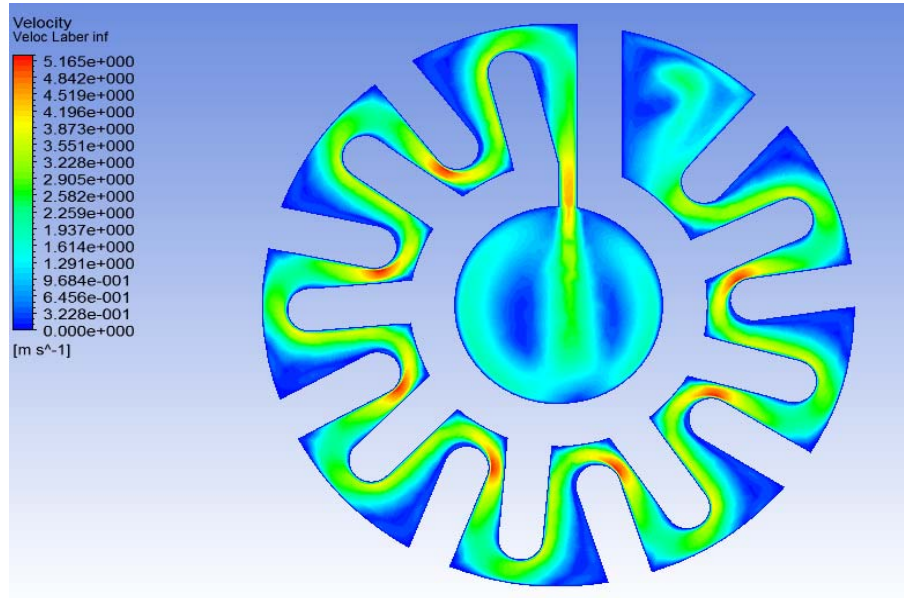


Figura 3. 69. Contorno de velocidad laberinto Inferior. (Fuente: Autor)

- Contorno de velocidad a la salida del emisor, en la salida del emisor se tiene una velocidad baja. velocidad máxima de salida 0.309 m/s y mínima de 0 m/s junto a la pared.

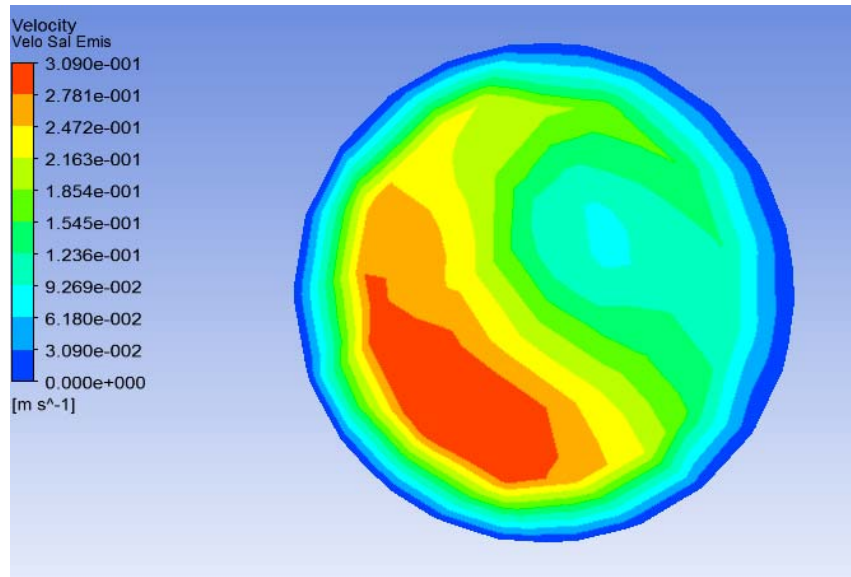


Figura 3. 70. Contorno de velocidad salida del emisor. (Fuente: Autor)

3.3.2.4.2 Contornos de Presión Rainbow Italy adquirido.

A continuación se observa los contornos de presión generados en cada una de las secciones consideradas como más importantes en este estudio las cuales están explicadas en la figura 3.65.

- La presión máxima en la entrada del emisor es de 199.1 Kpa debido a las pérdidas generadas en el sistema.

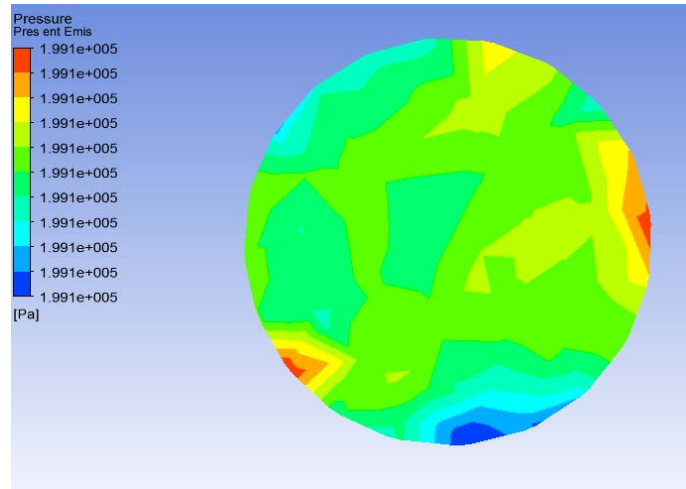


Figura 3. 71. Contorno de presión entrada del emisor. (Fuente: Autor)

- Pérdida de energía en el laberinto superior. Se observa una presión máxima en la entrada del laberinto de 197.1 Kpa y una presión mínima de 96.71 Kpa a la salida del laberinto.

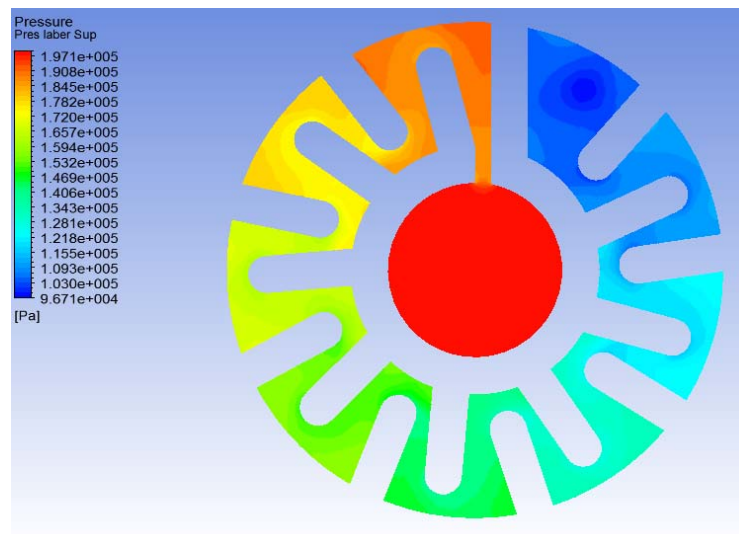


Figura 3. 72. Contorno de presión laberinto Superior. (Fuente: Autor)

- Pérdida de energía en el laberinto inferior. Se observa una presión máxima en la entrada del laberinto de 96.32 Kpa y una presión mínima de 5.54 Kpa a la salida del laberinto.

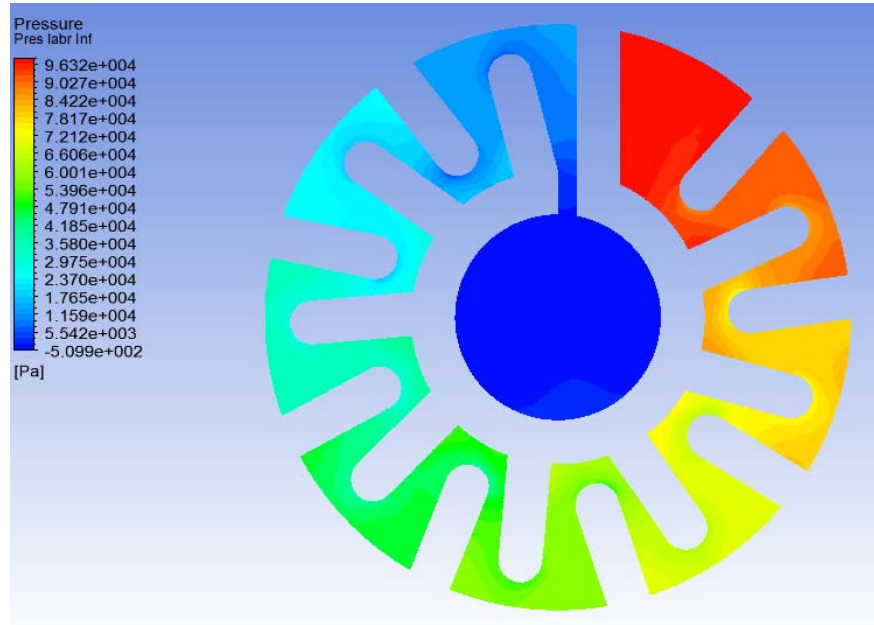


Figura 3. 73. Contorno de presión laberinto inferior. (Fuente: Autor)

- Pérdida de energía en la salida del emisor, se puede observar en la entrada una presión máxima de 199.1 Kpa mientras que en la salida una presión máxima de 0.032 Kpa, tenemos una pérdida de energía de 190.96 Kpa.

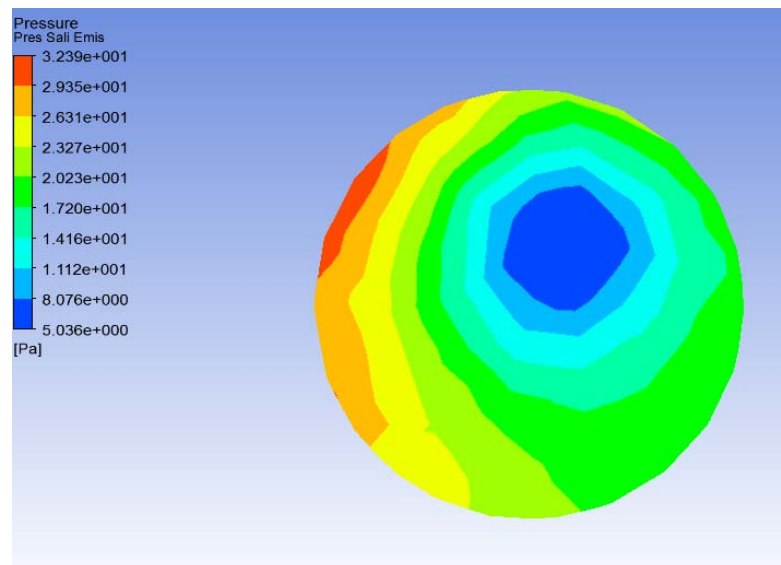


Figura 3. 74. Contorno de presión laberinto inferior. (Fuente: Autor)

3.3.2.4.3 Contornos de turbulencia y esfuerzos cortantes en la pared Rainbow Italy adquirido.

Las siguientes figuras muestran las zonas de más intensidad de la energía cinética turbulenta, donde los valores máximos se encuentran luego que el fluido pasa de los estrechamientos, así como también en la zona próxima al impacto del fluido contra la pared.

- Turbulencia generada en el laberinto superior. Turbulencia máxima 2.108 J/Kg

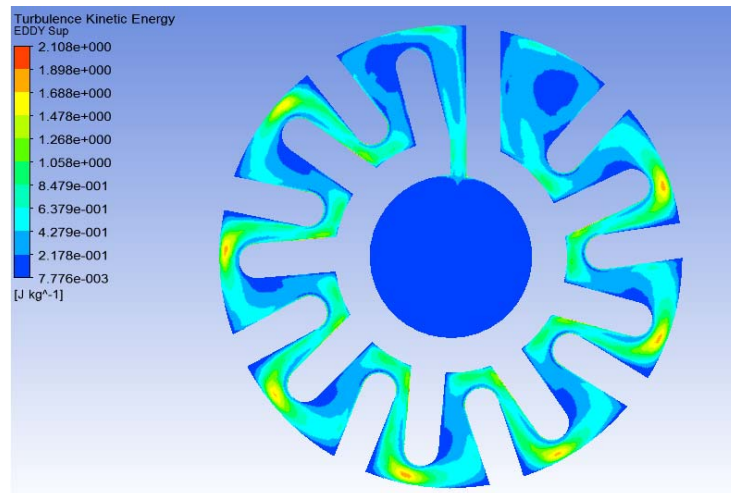


Figura 3. 75. Contorno de turbulencia laberinto superior. (Fuente: Autor)

- Turbulencia generada en el laberinto inferior. Turbulencia máxima 2.419 J/Kg

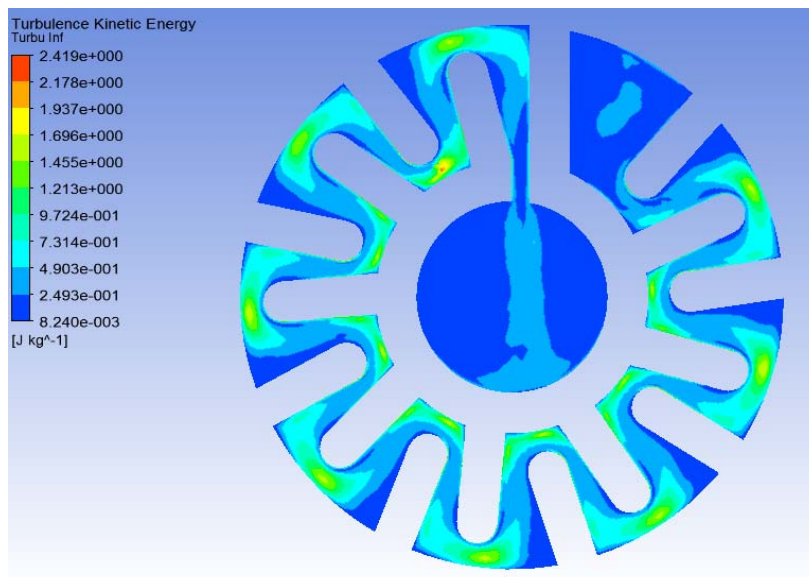


Figura 3. 76. Contorno de turbulencia laberinto inferior. (Fuente: Autor)

Al analizar las figuras 3.74 y 3.75 se determinó que la turbulencia aumenta gradualmente como aumenta la velocidad.

En la siguiente figura se muestran la distribución de fuerzas cortantes, así como su intensidad. A medida que la velocidad aumenta en las zonas más estrechas los esfuerzos cortantes se manifiestan con mayor intensidad.

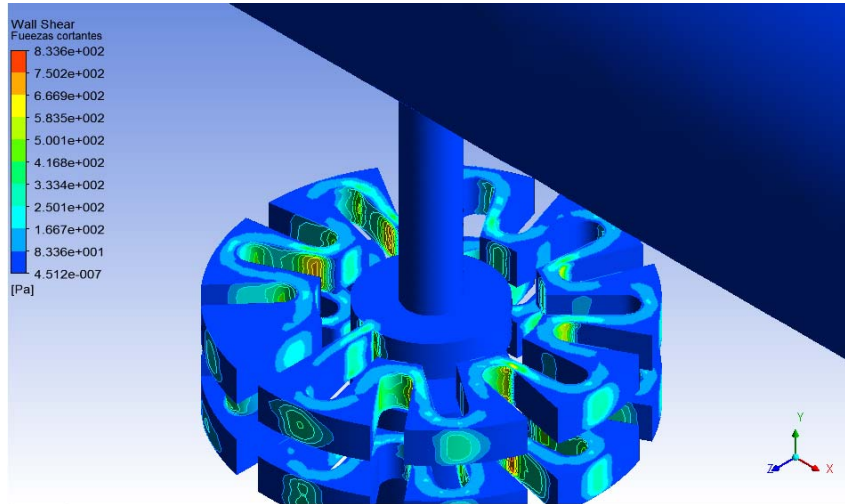
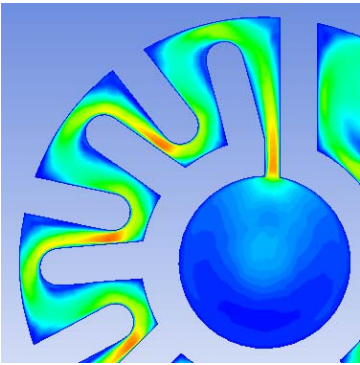
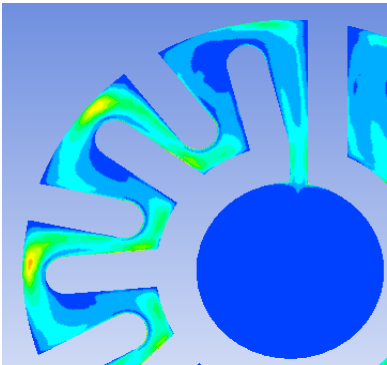


Figura 3. 77. Contorno de fuerzas cortantes en la pared. (Fuente: Autor)

En la tabla 3.47 se aprecia que existe un aumento de velocidad en los estrechamientos del laberinto, una vez que el fluido pasa por el estrechamiento a una velocidad elevada el fluido produce una mayor turbulencia al chocar contra la pared del laberinto como se muestra en la tabla 3.47.

Tabla 3. 47. Resultados de velocidad obtenidos de la simulación

Velocidad	Turbulencia
	

(Fuente: Autor)

En el análisis CFD se parametrizó la presión de entrada, para evaluar el funcionamiento del emisor a diferentes presiones, en la siguientes tablas se muestran los valores de velocidad y presión en partes específicas del emisor de goteo.

- El parámetro de velocidad de salida del emisor se considera entre los más importante ya que es una velocidad baja como se muestra en la tabla, para evitar daños en el suelo de los cultivos.
- En el ingreso al emisor se tiene velocidades bajas pero a medida que ingresa al laberinto superior aumenta la velocidad gradualmente, pero al ingresa al laberinto inferior la velocidad desciende de la misma forma hasta conseguir salir del emisor a una velocidad baja.

Tabla 3. 48. Resultados de velocidad obtenidos de la simulación

Presión	Velocidad Entrada del emisor	Velocidad Salida del emisor	Velocidad laberinto Superior	Velocidad laberinto Inferior
bar	m/s	m/s	m/s	m/s
0,5	0,48	0,13	2,28	1,26
1	0,70	0,18	3,36	2,02
1,5	0,86	0,23	4,20	2,67
2	0,99	0,26	4,91	3,21
2,5	1,10	0,31	5,52	3,78
3	1,20	0,34	6,10	4,20

(Fuente: Autor)



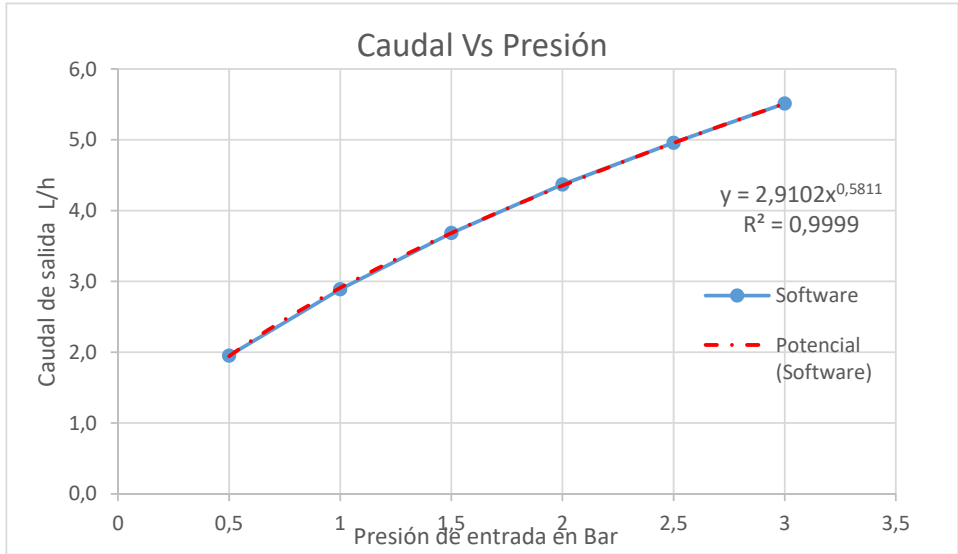
- La presión de salida del emisor de goteo es baja como se muestra en la tabla debido a que existe gran cantidad de pérdida de energía en el transcurso que el fluido pasa por el laberinto superior e inferior.

Tabla 3. 49. Resultados de presión obtenidos de la simulación

Presión	Presión Entrada del emisor	Presión salida del emisor	Presión laberinto superior	Presión laberinto Inferior
bar	Pa	Pa	Pa	Pa
0,5	49781,55	6,94	49795,13	24839,94
1	99537,02	17,03	99584,75	49527,83
1,5	149348,31	28,79	149446,11	73877,09
2	199145,34	39,58	199293,30	98243,07
2,5	248911,81	47,37	249110,34	122647,57
3	298714,56	58,55	298979,63	146523,58

(Fuente: Autor)

Tabla 3. 50. Simulación del emisor Rain Bow adquirido en el mercado

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
SIMULACIÓN CFD			
Emisor N°	01	Marca:	RainBow Italy
Fecha de Ejecución:	16/11/2016	Realizado por:	Juan Diego Zúñiga
		Revisado por:	Ing. Diego Núñez
Diámetro de tubería:	12 mm	Diámetro de entrada emisor :	2 mm
Relación de aspecto mínima:	1,1607	Relación de aspecto máxima:	27, 018
Número de elementos:	386691	Número de nodos:	147935
Tiempo de procesamiento:	4 horas 30 minutos	Número de procesadores:	8
RESULTADOS			
			
RESULTADOS OBTENIDOS			
Presión	Caudal de salida	Caudal	Velocidad entrada Manguera
Bar	m^3/s	Litro/horas	m/s
0,5	5,42E-07	2,0	0,006
1	8,02E-07	2,9	0,279
1,5	1,02E-06	3,7	0,516
2	1,21E-06	4,4	0,013
2,5	1,38E-06	5,0	0,472
3	1,53E-06	5,5	0,517

(Fuente: Autor)

3.3.3 Simulación emisor A geometría propuesta.

3.3.3.1 Geometría de análisis

En la siguiente geometría se puede observar un doble laberinto es su trayectoria de flujo, el cual consta de muchos giros, que debe realizar el agua antes de salir del emisor de goteo.

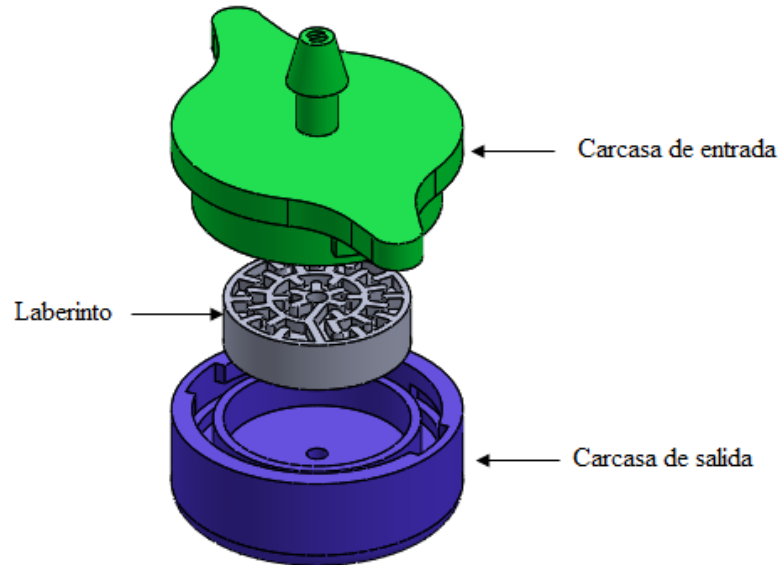


Figura 3. 78. Geometría de las partes del emisor de goteo. (Fuente: Autor)

La siguiente figura muestra el volumen de agua que se genera en el interior del emisor de goteo.

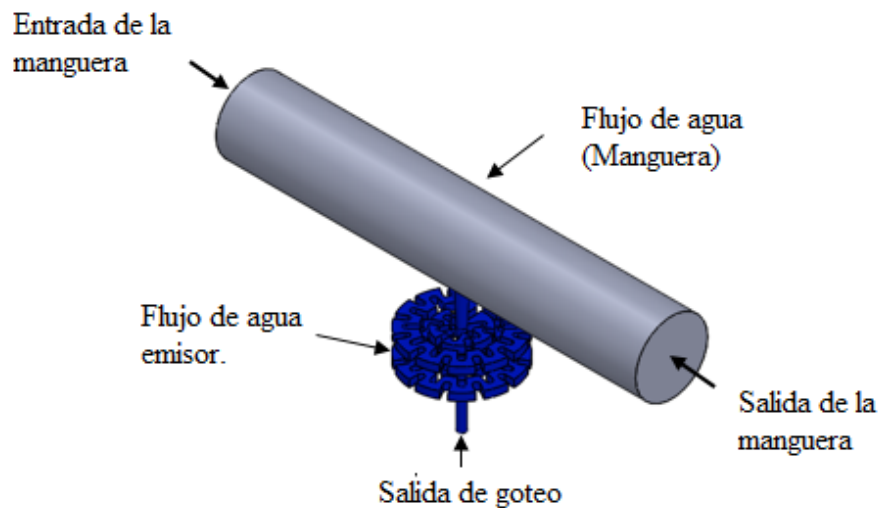


Figura 3. 79. Geometría del flujo de agua. (Fuente: Autor)

3.3.3.2 Verificación de la calidad de la malla

Para el mallado del emisor A se siguió los mismos pasos descritos en el emisor Rinbow ya que es la malla que mejor resultados tiene en los cálculos.

En las siguientes figuras se observara diferentes vistas de la malla generada.

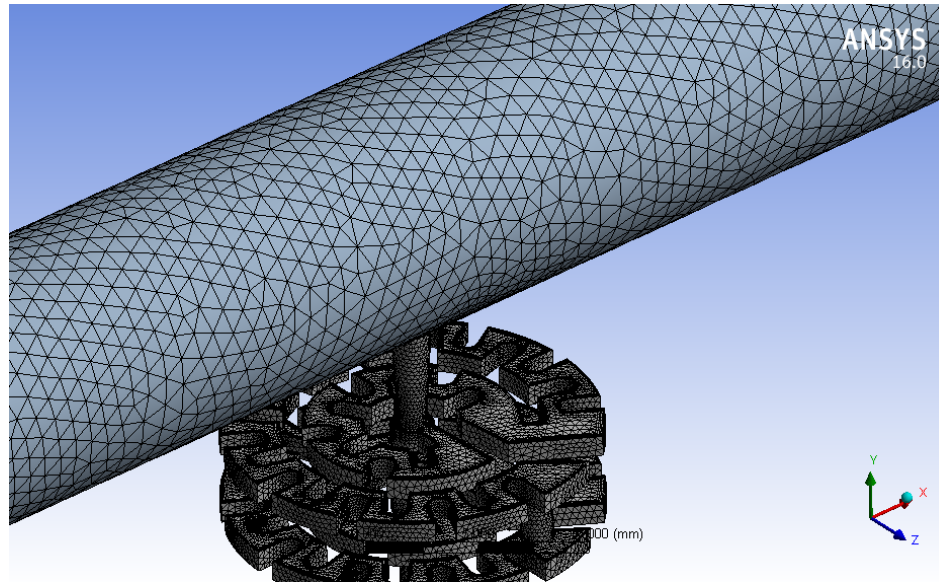


Figura 3. 80. Vista isométrica del mallado emisor A. (Fuente: Autor)

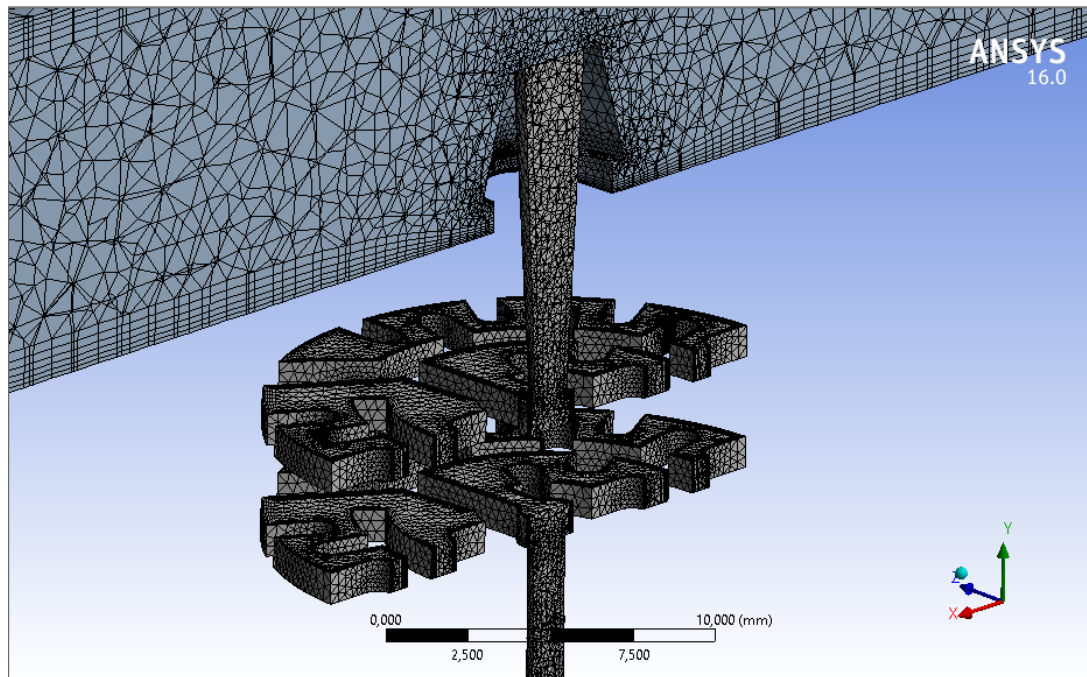


Figura 3. 81. Vista de corte del mallado del emisor A. (Fuente: Autor)

Evaluación de la malla

La malla del emisor A consta de 167484 nodos y 452960 elementos, esta gran cantidad de elementos y nodos se debe a que tenemos una geometría compleja. Está formada por tetraedros y prismas de base triangular.

Relación de aspecto: En el capítulo anterior se dijo que un valor aceptable de la relación de aspecto puede ser menor de 50. La relación de aspecto (*Aspect ratio*) en este caso es, mínimo 1,16 y máximo 24,33.

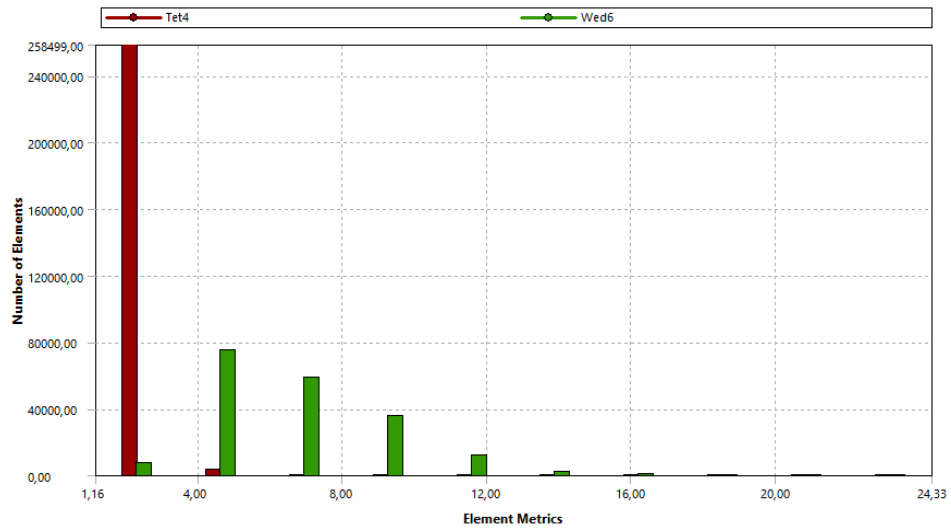


Figura 3. 82. Evaluación de la relación de aspecto. (Fuente: Autor)

Oblicuidad (Skewness): El mallado del emisor A tiene una oblicuidad mínima de $2,162e - 4$ y na máxima de 0,848 este valor es aceptable de acuerdo a lo que recomienda el capítulo de teoría.

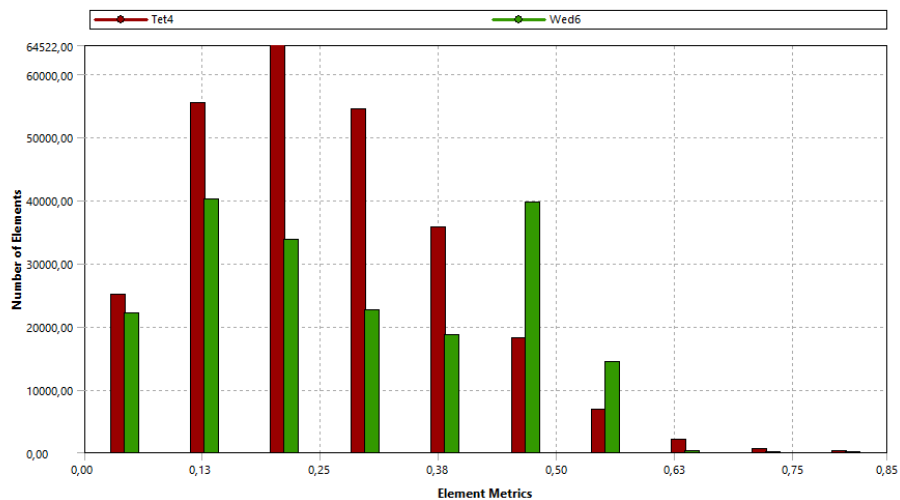


Figura 3. 83. Evaluación de oblicuidad. (Fuente: Autor)

Calidad ortogonal (Orthogonal Quality): En la mallado del emisor A tenemos una calidad ortogonal de malla mínima de 0,232 y una máxima de 0,999 por lo que estos valores se encuentran en el rango recomendado en el capítulo anterior que debe ser menor a 1.

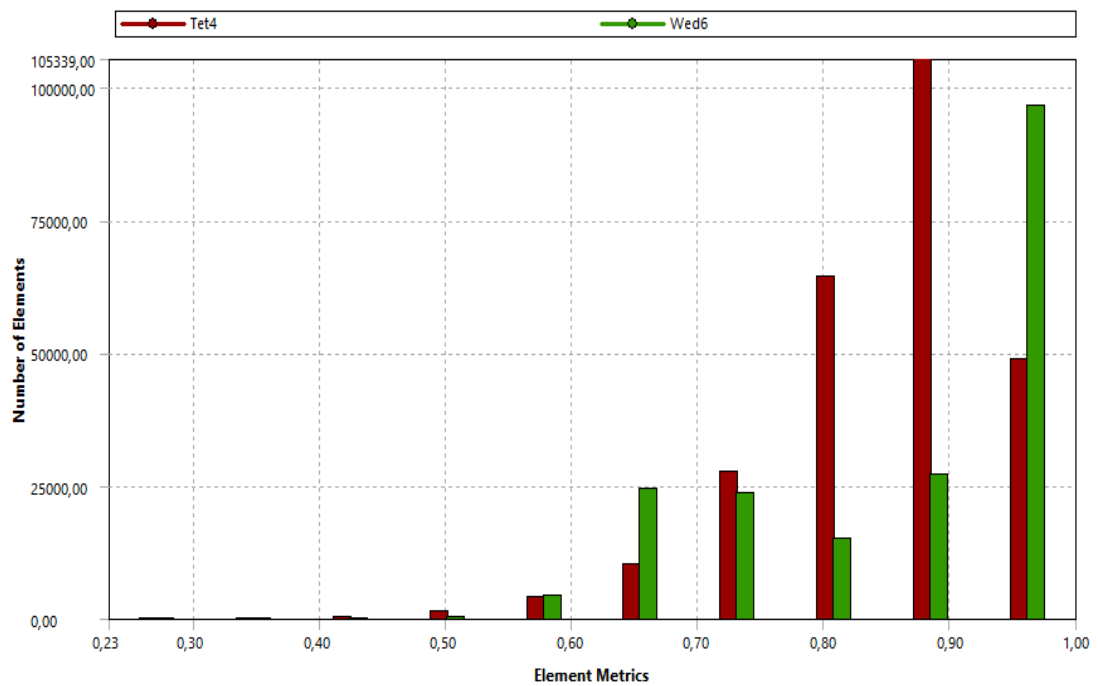


Figura 3. 84. Evaluación de la calidad ortogonal. (Fuente: Autor)

3.3.3.3 Configuración de la solución

Para la configuración de la solución del emisor de goteo A se procedió de igual manera que en caso del emisor RainBow Italy sin ninguna modificación ya que el primer análisis nos da resultados confiables.

Convergencia.

La siguiente figura se puede observar la convergencia residual del emisor de goteo A este emisor es el primer diseño realizado para evaluar su funcionamiento.

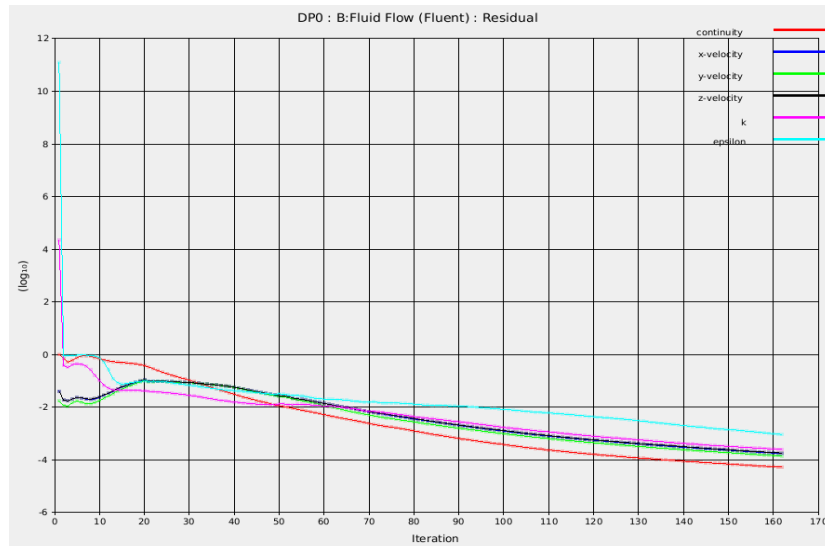


Figura 3. 85. Convergencia con residuales escalados. (Fuente: Autor)

En esta figura se detalla la convergencia con balance de flujo volumetrico donde a medida que el número de iteraciones avanza el flujo es constante.

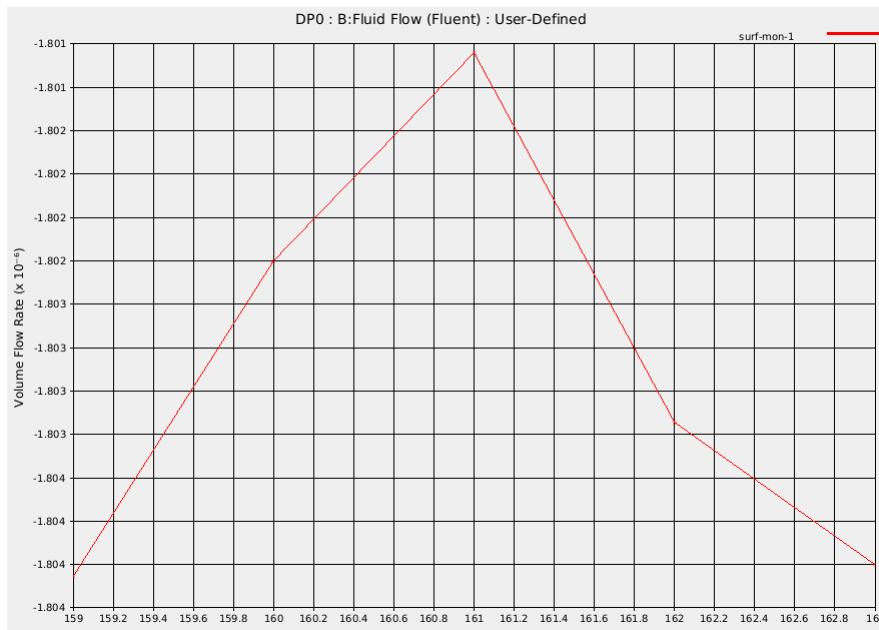


Figura 3. 86. Convergencia con Balance de flujo volumétrico. (Fuente: Autor)

3.3.3.4 Resultados del análisis CFD

3.3.2.4.1 Contornos de Velocidad del emisor A geometría propuesta.

A continuación se observa los contornos de velocidad generados en cada una de las secciones consideradas como más importantes en este estudio las cuales están explicadas en la figura 3.65.

- Contorno de velocidad en la entrada del emisor de goteo, donde se aprecia una velocidad máxima 0.7242 m/s en el centro de la sección y velocidad mínima de 0 m/s junto a la pared.

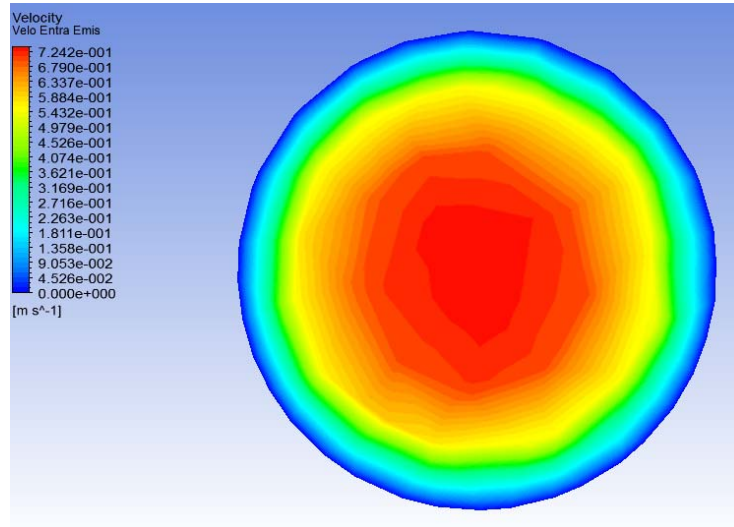


Figura 3. 87. Contorno de velocidad en la entrada del emisor. (Fuente: Autor)

- Contor de velocidad en laberinto superior por donde el agua hace su primer recorrido. Se observa el aumento de la velocidad maxima a 4.036 m/s y minima de 0 m/s junto a la pared al ingresar al laberinto.

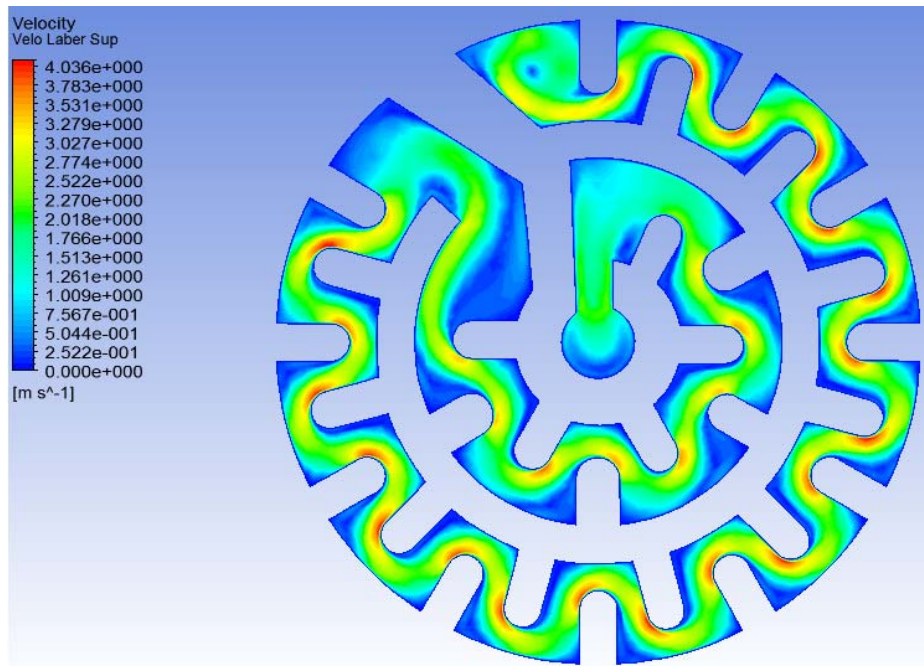


Figura 3. 88. Contorno de velocidad laberinto superior. (Fuente: Autor)

- Contorno de velocidad en el laberinto inferior de igual manera tenemos una velocidad máxima de 3.799 m/s y mínima de 0 m/s junto a la pared, pero en la salida del laberinto tenemos baja velocidad aproximadamente de 0.237 m/s.

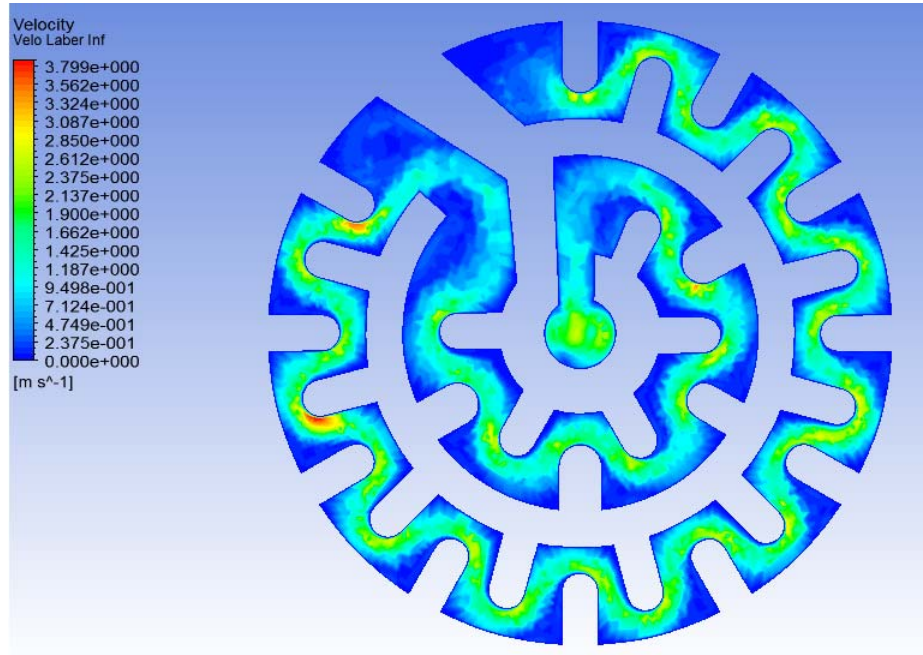


Figura 3. 89. Contorno de velocidad laberinto Inferior. (Fuente: Autor)

- Contorno de velocidad a la salida del emisor, se tiene una velocidad alta en la salida este no es aceptable en el diseño de emisor. velocidad máxima de salida 1.702 m/s y mínima de 0 m/s junto a la pared.

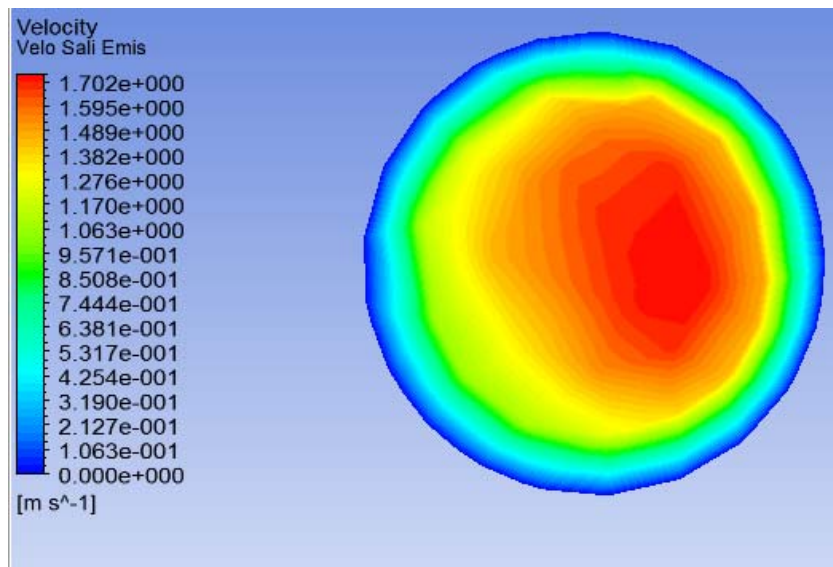


Figura 3. 90. Contorno de velocidad salida del emisor. (Fuente: Autor)

3.3.2.4.2 Contornos de Presión del emisor A geometría propuesta.

A continuación se observa los contornos de presión generados en cada una de las secciones consideradas como más importantes en este estudio las cuales están explicadas en la figura 3.65.

- La presión máxima en la entrada del emisor es de 199.7 Kpa debido a las pérdidas generadas en el sistema.

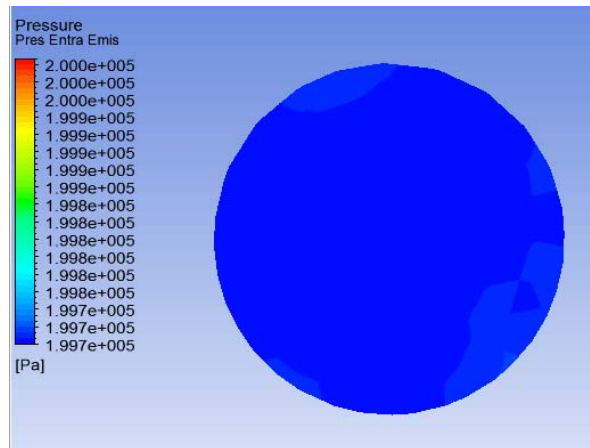


Figura 3. 91. Contorno de presión entrada del emisor. (Fuente: Autor)

- Pérdida de energía en el laberinto superior. Se observa una presión máxima en la entrada del laberinto de 196.8 Kpa y una presión mínima de 97.27 Kpa a la salida del laberinto.

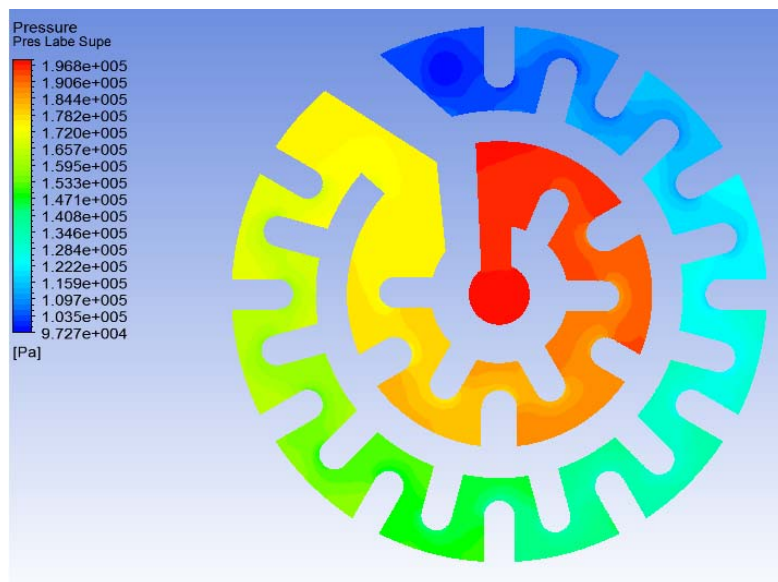


Figura 3. 92. Contorno de presión laberinto Superior. (Fuente: Autor)

- Pérdida de energía en el laberinto inferior. Se observa una presión máxima en la entrada del laberinto de 97.65 Kpa y una presión mínima de 5.585 Kpa a la salida del laberinto.

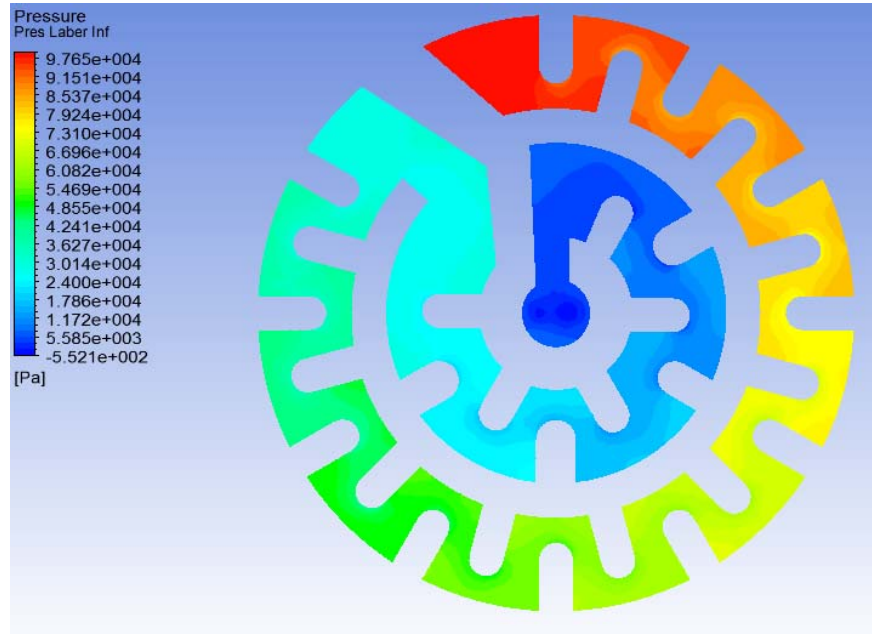


Figura 3. 93. Contorno de presión laberinto inferior. (Fuente: Autor)

- Pérdida de energía en la salida del emisor, se puede observar en la entrada una presión máxima de 199.7 Kpa mientras que en la salida una presión máxima de 0.453 Kpa, tenemos una pérdida de energía de 199.24 Kpa.

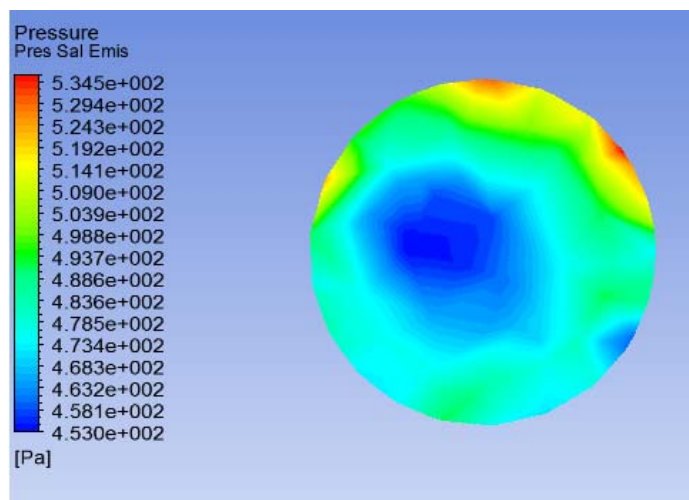


Figura 3. 94. Contorno de presión laberinto inferior. (Fuente: Autor)

3.3.2.4.3 Contornos de turbulencia y esfuerzos cortantes en la pared del emisor A geometría propuesta.

Las siguientes figuras muestran las zonas de más intensidad de la energía cinética turbulenta, donde los valores máximos se encuentran luego que el fluido pasa de los estrechamientos, así como también en la zona próxima al impacto del fluido contra la pared.

- Turbulencia generada en el laberinto superior. Turbulencia máxima 1.769 J/Kg

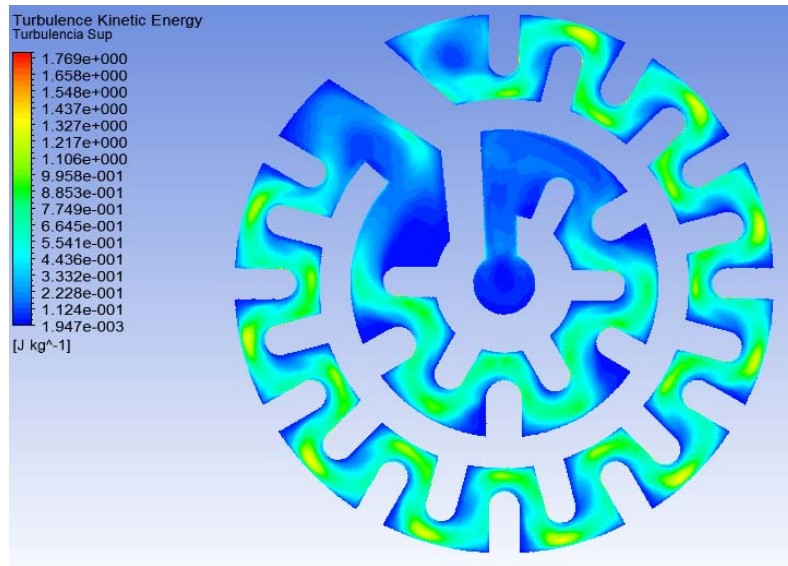


Figura 3. 95. Contorno de turbulencia laberinto superior. (Fuente: Autor)

- Turbulencia generada en el laberinto inferior. Turbulencia máxima 1.525 J/Kg

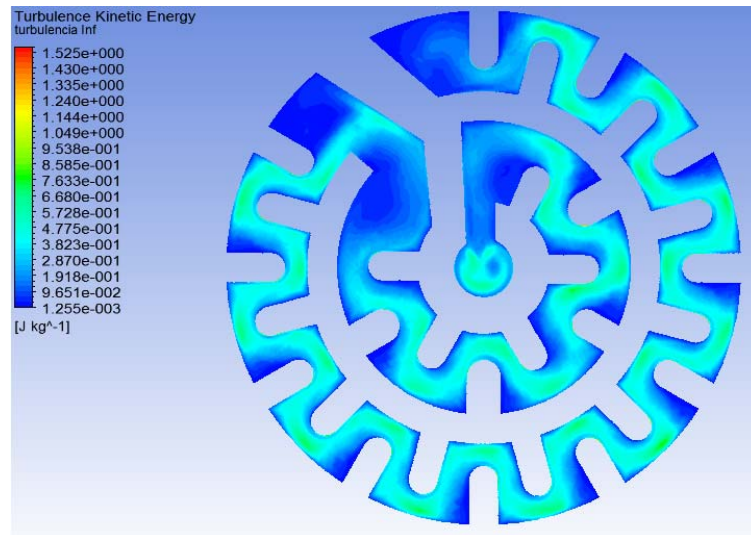


Figura 3. 96. Contorno de turbulencia laberinto inferior. (Fuente: Autor)

Al analizar las figuras anteriores se determinó que la turbulencia aumenta gradualmente como aumenta la velocidad.

En la siguiente figura se muestran la distribución de fuerzas cortantes, así como su intensidad. A medida que la velocidad aumenta en las zonas más estrechas los esfuerzos cortantes se manifiestan con mayor intensidad.

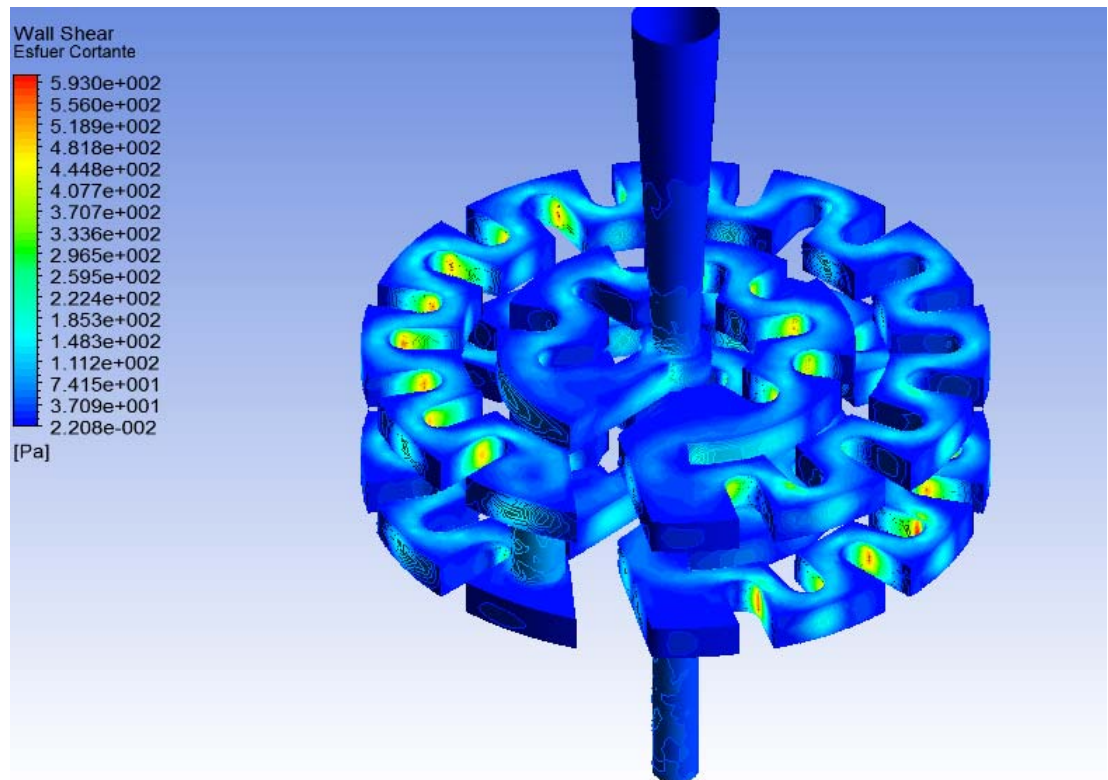


Figura 3. 97. Contorno de fuerzas cortantes en la pared. (Fuente: Autor)

En el análisis CFD se parametrizó la presión de entrada, para evaluar el funcionamiento del emisor a diferentes presiones, en la siguientes tablas se muestran los valores de velocidad y presión promedio ya que los puntos máximos se pueden observar en las figuras anteriores.

- El parámetro de velocidad de salida del emisor se considera entre los más importante ya que es una velocidad baja como se muestra en la tabla, para evitar daños en el suelo de los cultivos.

- En el ingreso al emisor se tiene velocidades bajas pero a medida que ingresa al laberinto superior aumenta la velocidad gradualmente, pero al ingresa al laberinto inferior la velocidad descende de la misma forma hasta conseguir salir del emisor a una velocidad baja pero no es la adecuada al comparar con la velocidad del emisor Rain Bow Italy.

Tabla 3. 51. Resultados de velocidad obtenidos de la simulación

Presión	Velocidad Entrada del emisor	Velocidad Salida del emisor	Velocidad laberinto Superior	Velocidad laberinto Inferior
bar	m/s	m/s	m/s	m/s
0,5	0,30	0,60	0,70	0,70
1	0,45	0,92	1,06	1,06
1,5	0,56	1,16	1,34	1,34
2	0,66	1,36	1,59	1,58
2,5	0,75	1,54	1,80	1,79
3	0,82	1,70	2,00	1,99

(Fuente: Autor)



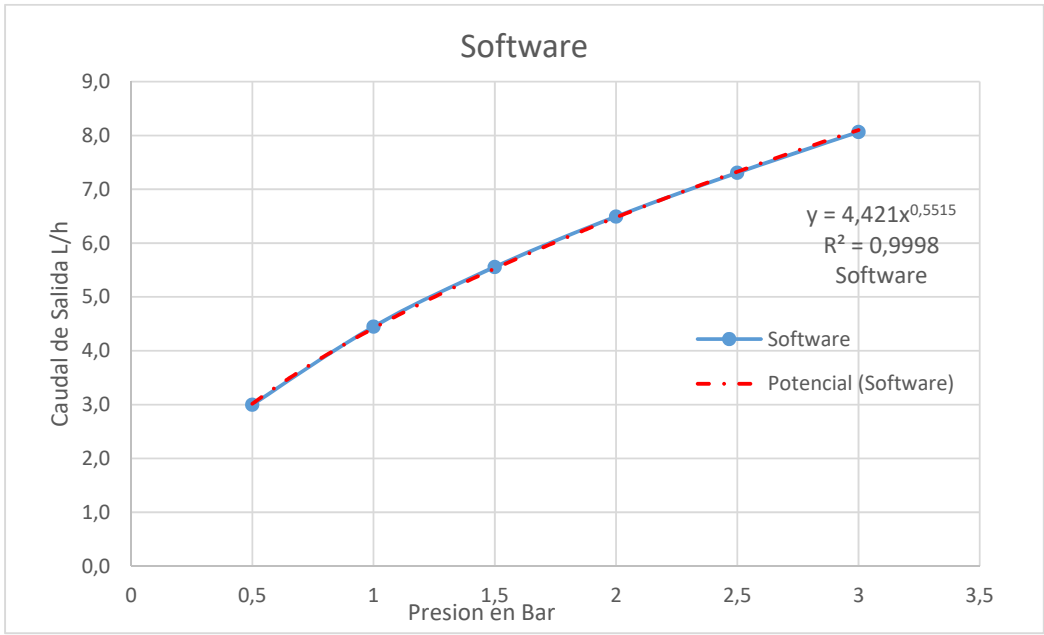
- La presión de salida del emisor de goteo es baja como se muestra en la tabla 3.52 debido a que existe gran cantidad de pérdida de energía en el transcurso que el fluido pasa por el laberinto superior e inferior.

Tabla 3. 52. Resultados de presión obtenidos de la simulación

Presión	Presión Entrada del emisor	Presión salida del emisor	Presión laberinto superior	Presión laberinto Inferior
bar	Pa	Pa	Pa	Pa
0,5	49900,31	269,24	38382,24	11978,41
1	99811,59	469,86	76662,50	24063,32
1,5	149720,89	628,64	114981,19	36275,10
2	199628,92	769,92	153023,09	48383,69
2,5	249519,01	899,96	191404,30	60557,23
3	299447,49	1030,52	229338,70	72462,84

(Fuente: Autor)

Tabla 3. 53. Simulación del emisor A diseño propuesto por el autor

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
SIMULACIÓN CFD			
Emisor N°	01	Marca:	Emisor A
Fecha de Ejecución:	16/11/2016	Realizado por:	Juan Diego Zúñiga
		Revisado por:	Ing. Diego Núñez
Diámetro de tubería:	12 mm	Diámetro de entrada emisor :	2 mm
Relación de aspecto mínima:	1,1607	Relación de aspecto máxima:	27, 018
Número de elementos:	452960	Número de nodos:	167484
Tiempo de procesamiento:	3 horas	Número de procesadores:	8
RESULTADOS			
			
RESULTADOS OBTENIDOS			
Presión	Caudal de salida	Caudal	Velocidad entrada Manguera
Bar	m^3/s	Litro/horas	m/s
0,5	8,33E-07	3,0	0,026
1	1,24E-06	4,4	0,043
1,5	1,54E-06	5,6	0,053
2	1,80E-06	6,5	0,014
2,5	2,03E-06	7,3	0,085
3	2,24E-06	8,1	0,079

(Fuente: Autor)

3.3.3 Simulación emisor B geometría propuesta.

3.3.4.1 Geometría de análisis

En la geometría que se muestra a continuación se puede observar un laberinto tipo estrella, por donde el flujo de agua debe circular antes de salir del emisor de goteo, la entra de agua al interior del emisor tiene una forma de cruz y un ingreso al laberinto en forma de cono.

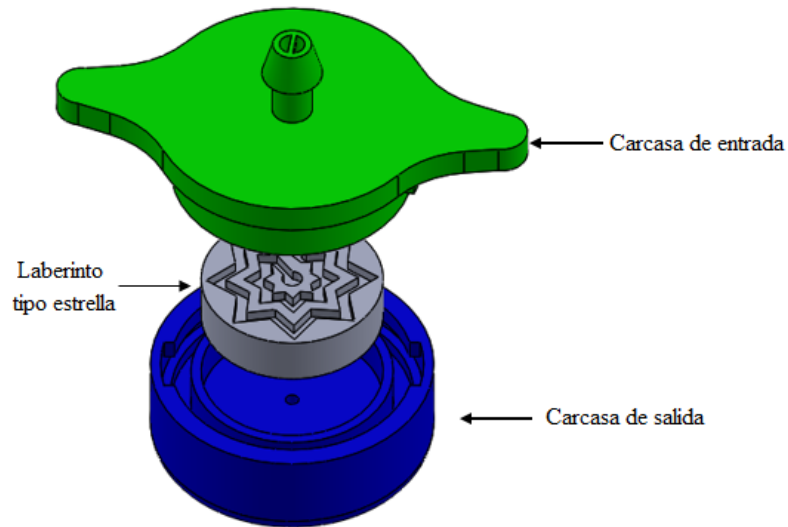


Figura 3. 98. Geometría de las partes del emisor de goteo. (Fuente: Autor)

La siguiente figura muestra el volumen de agua que se genera en el interior del emisor de goteo.

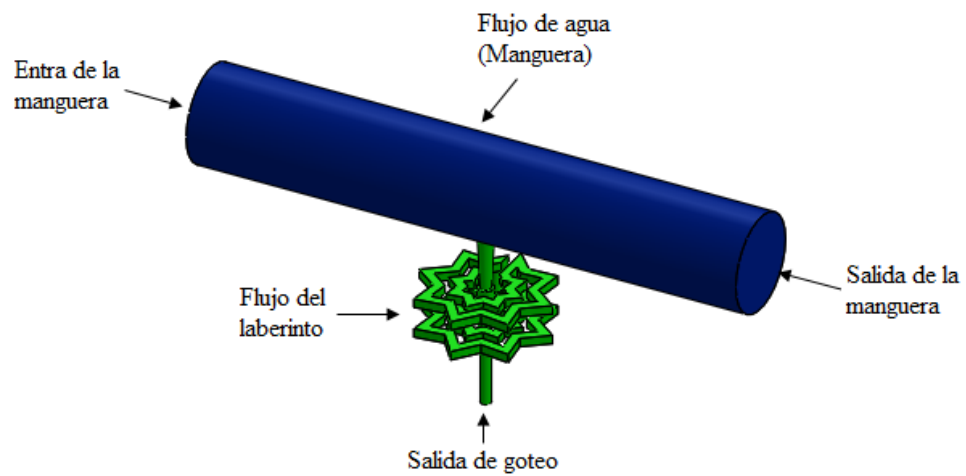


Figura 3. 99. Geometría del flujo de agua. (Fuente: Autor)

3.3.4.2 Verificación de la calidad de la malla

Para el mallado del emisor B se siguió los mismos pasos descritos en el emisor Rinbow ya que es la malla que mejor resultados tiene en los cálculos.

En las siguientes figuras se observara diferentes vistas de la malla generada.

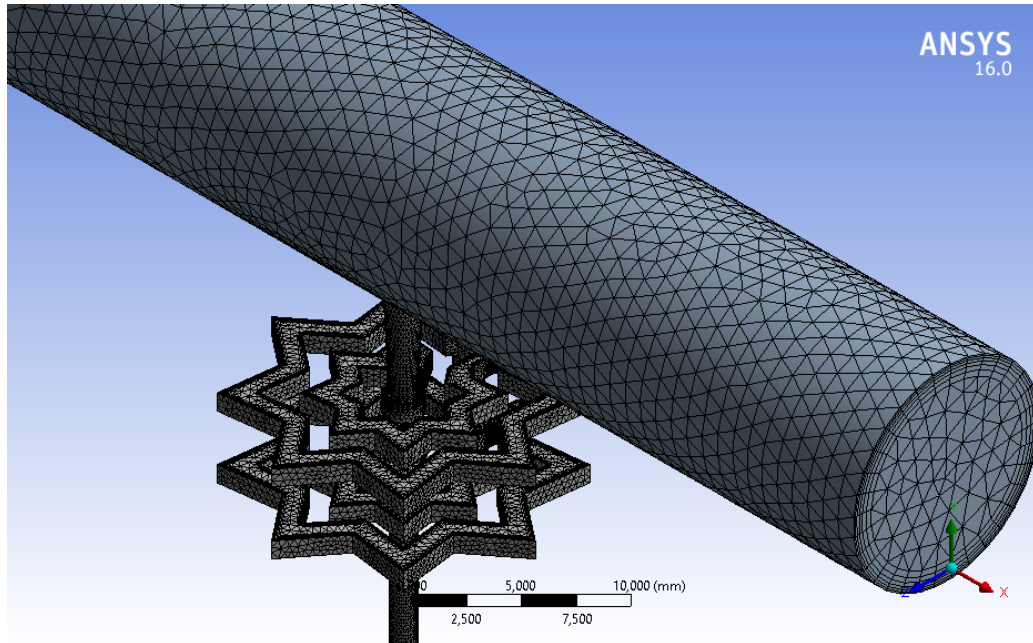


Figura 3. 100. Vista isométrica del mallado emisor A. (Fuente: Autor)

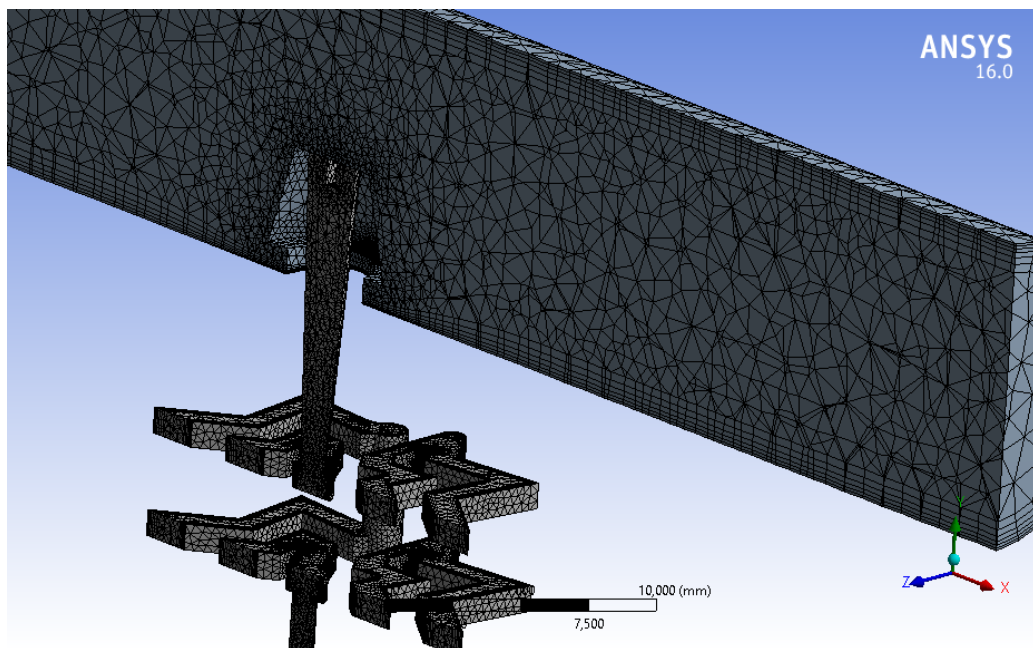


Figura 3. 101. Vista de corte del mallado del emisor A. (Fuente: Autor)

Evaluación de la malla

La malla del emisor A consta de 113358 nodos y 331267 elementos, esta gran cantidad de elementos y nodos se debe a que tenemos una geometría compleja. Está formada por tetraedros y prismas de base triangular.

Relación de aspecto: En el capítulo anterior se dijo que un valor aceptable de la relación de aspecto puede ser menor de 50. La relación de aspecto (*Aspect ratio*) en este caso es, mínimo 1,16 y máximo 31.518.

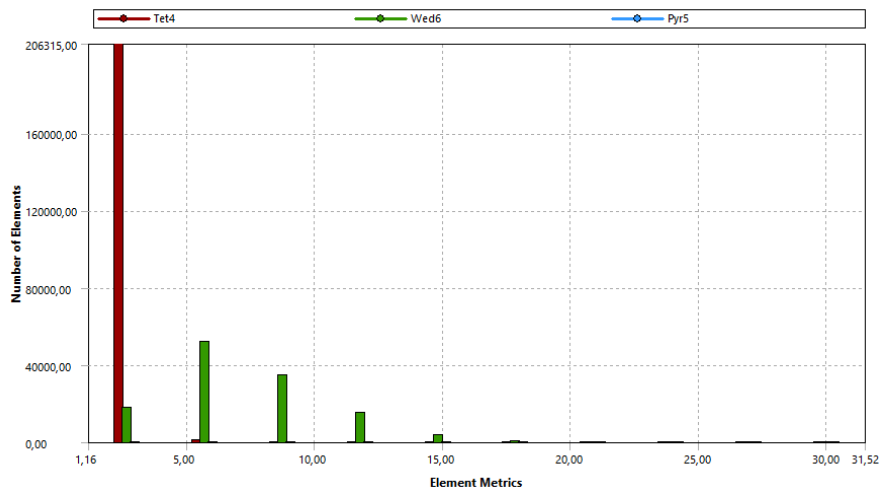


Figura 3. 102. Evaluación de la relación de aspecto. (Fuente: Autor)

Oblicuidad (Skewness): El mallado del emisor B tiene una oblicuidad mínima de $9,4238e - 5$ y na máxima de 0,936 este valor es aceptable de acuerdo a lo que recomienda el capítulo de teoría.

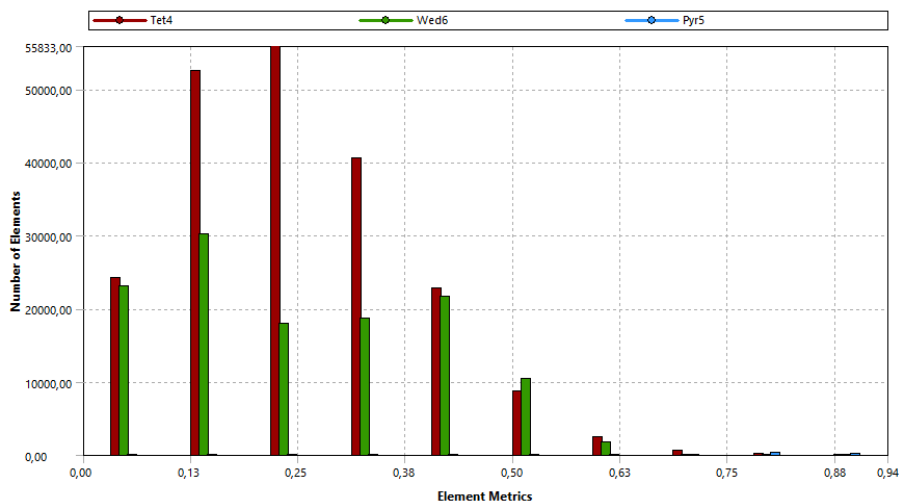


Figura 3. 103. Evaluación de oblicuidad. (Fuente: Autor)

Calidad ortogonal (Orthogonal Quality): En la mallado del emisor A tenemos una calidad ortogonal de malla mínima de 0,232 y una máxima de 0,999 por lo que estos valores se encuentran en el rango recomendado en el capítulo anterior que debe ser menor a 1.

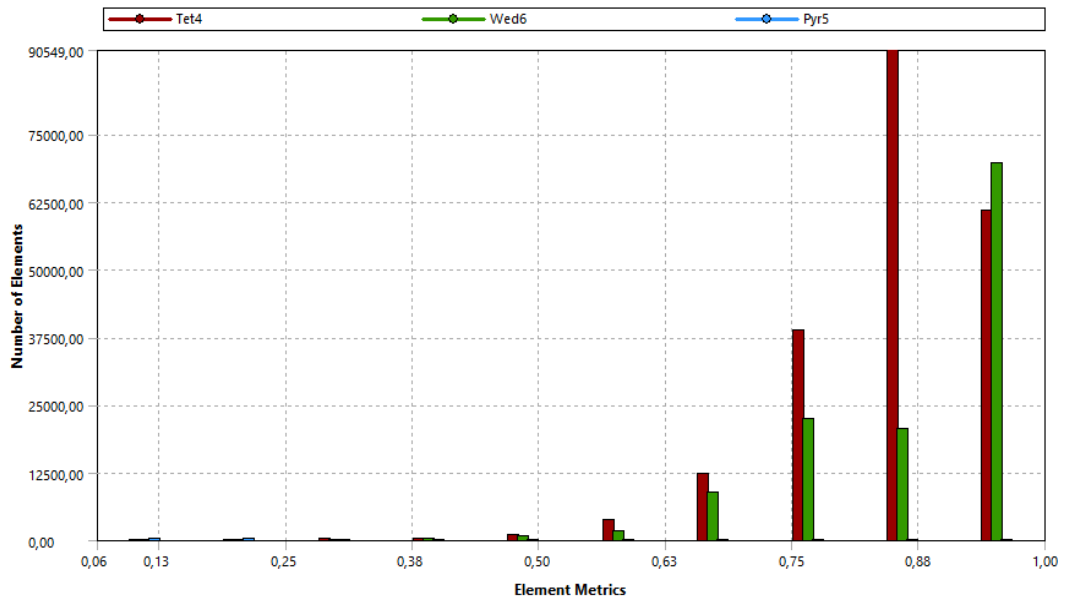


Figura 3. 104. Evaluación de la calidad ortogonal. (Fuente: Autor)

3.3.4.3 Configuración de la solución

Para la configuración de la solución del emisor de goteo A se procedió de igual manera que en caso del emisor RainBow Italy sin ninguna modificación ya que el primer análisis nos da resultados confiables.

Convergencia.

La siguiente figura se puede observar la convergencia residual del emisor de goteo A este emisor es el primer diseño realizado para evaluar su funcionamiento.

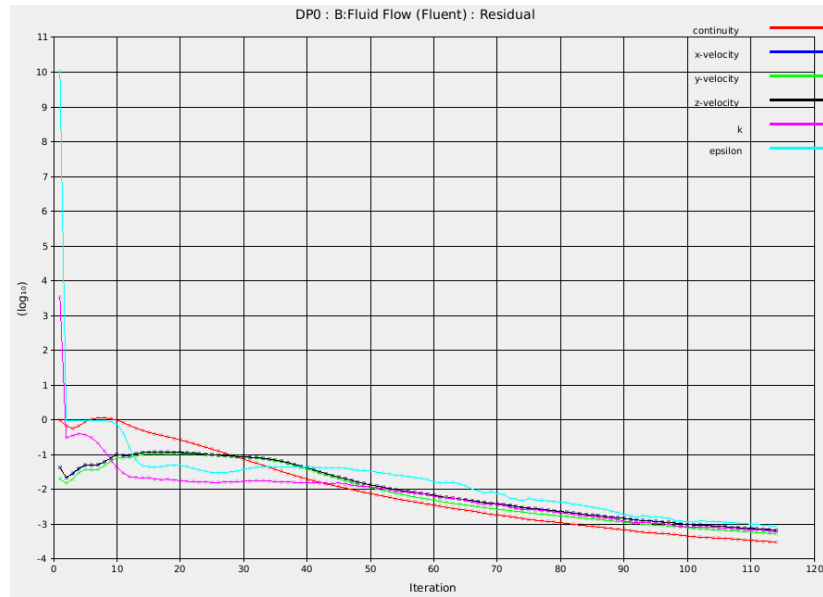


Figura 3. 105. Convergencia con residuales escalados. (Fuente: Autor)

En esta figura se detalla la convergencia con balance de flujo volumetrico donde a medida que el número de iteraciones avanza el flujo es constante.



Figura 3. 106. Convergencia con Balance de flujo volumétrico. (Fuente: Autor)

3.3.4.4 Resultados del análisis CFD

3.3.2.4.1 Contornos de Velocidad del emisor B geometría propuesta.

A continuación se observa los contornos de velocidad generados en cada una de las secciones consideradas como más importantes en este estudio las cuales están explicadas en la figura 3.65.

- Contorno de velocidad en la entrada del emisor de goteo, donde se aprecia una velocidad máxima 0.9908 m/s en el centro de la sección y velocidad mínima de 0 m/s junto a la pared.

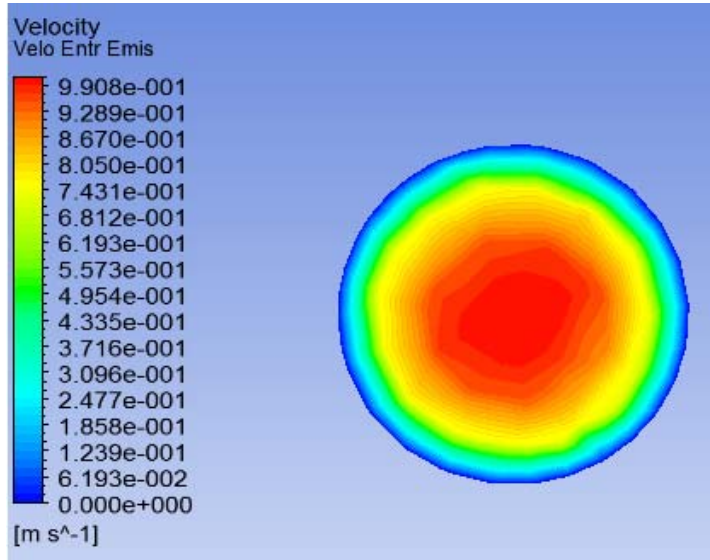


Figura 3. 107. Contorno de velocidad en la entrada del emisor. (Fuente: Autor)

- Contor de velocidad en laberinto superior por donde el agua hace su primer recorrido. Se observa el aumento de la velocidad maxima a 3.87 m/s y una velocidad de 3.12 m/s constante durante todo el recorrido .

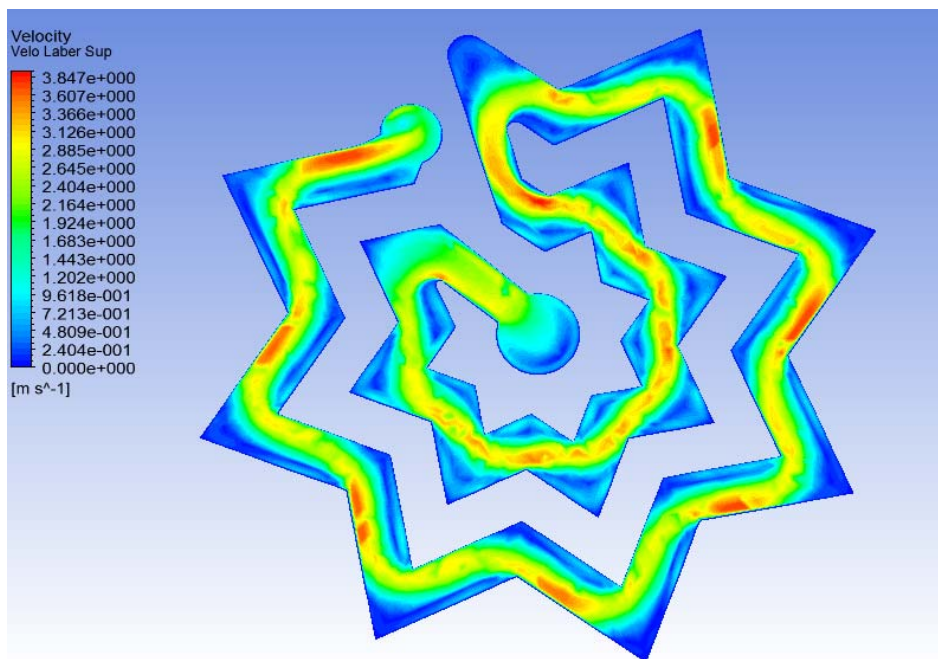


Figura 3. 108. Contorno de velocidad laberinto superior. (Fuente: Autor)

- Contorno de velocidad en el laberinto inferior de igual manera tenemos una velocidad máxima de 4.49 m/s en este caso la velocidad aumentando en el laberinto inferior lo que no es recomendable para nuestro diseño.

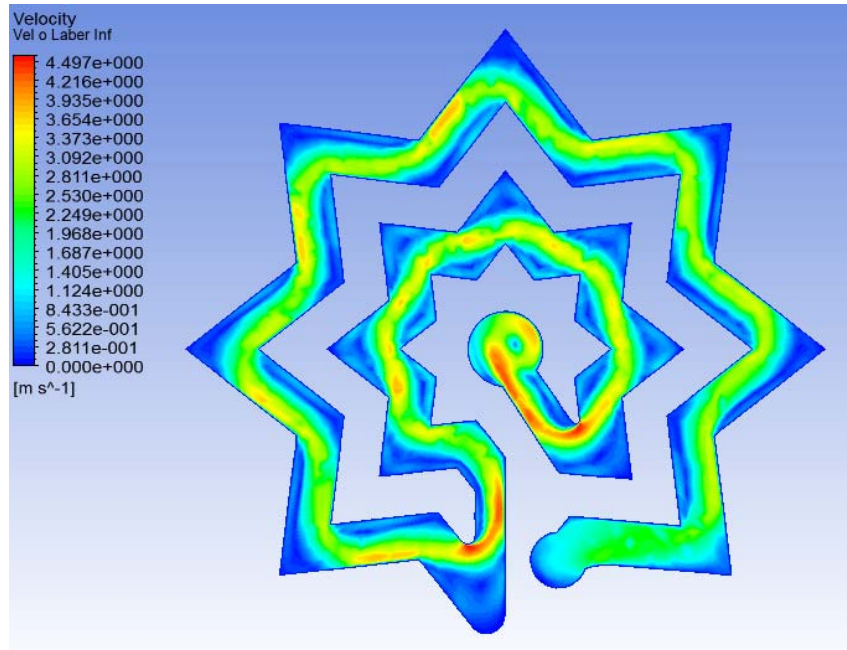


Figura 3. 109. Contorno de velocidad laberinto Inferior. (Fuente: Autor)

- Contorno de velocidad a la salida del emisor, se tiene una velocidad alta en la salida este no es aceptable en el diseño de emisor. velocidad máxima de salida 2.404 m/s y mínima de 0 m/s junto a la pared.

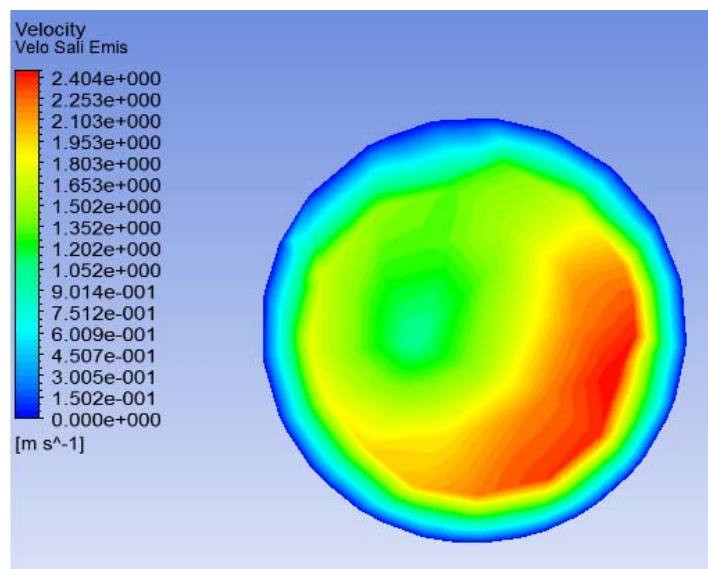


Figura 3. 110. Contorno de velocidad salida del emisor. (Fuente: Autor)

3.3.2.4.2 Contornos de Presión del emisor B geometría propuesta.

A continuación se observa los contornos de presión generados en cada una de las secciones consideradas como más importantes en este estudio las cuales están explicadas en la figura 3.65.

- La presión máxima en la entrada del emisor es de 199.3 Kpa debido a las pérdidas generadas en el sistema.

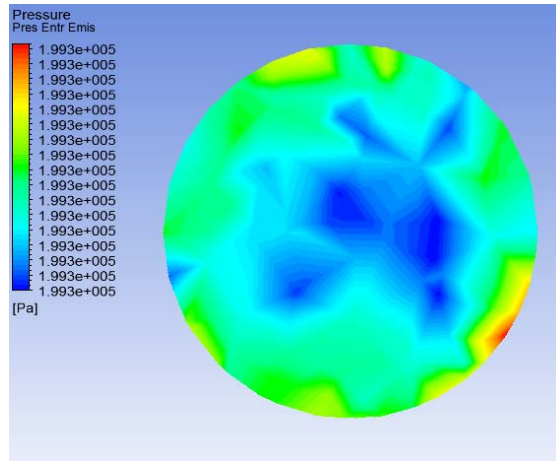


Figura 3. 111. Contorno de presión entrada del emisor. (Fuente: Autor)

- Pérdida de energía en el laberinto superior. Se observa una presión máxima en la entrada del laberinto de 196.9 Kpa y una presión mínima de 104.8 Kpa a la salida del laberinto.

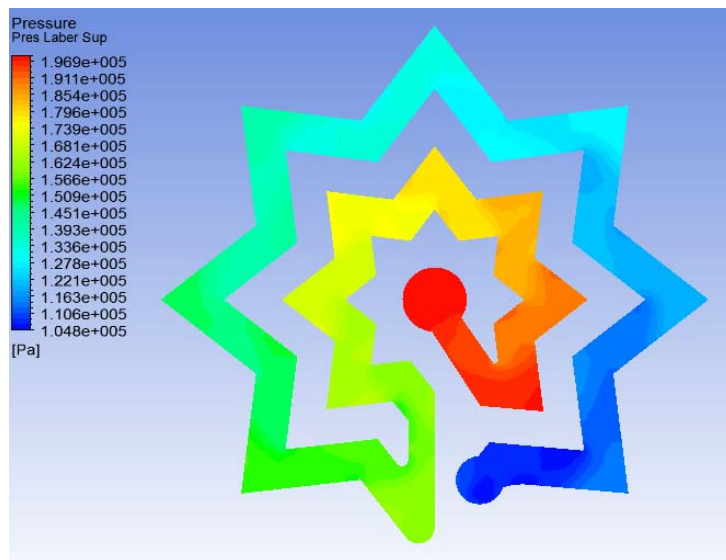


Figura 3. 112. Contorno de presión laberinto Superior. (Fuente: Autor)

- Pérdida de energía en el laberinto inferior. Se observa una presión máxima en la entrada del laberinto de 105.1 Kpa y una presión mínima de 3.425 Kpa a la salida del laberinto.

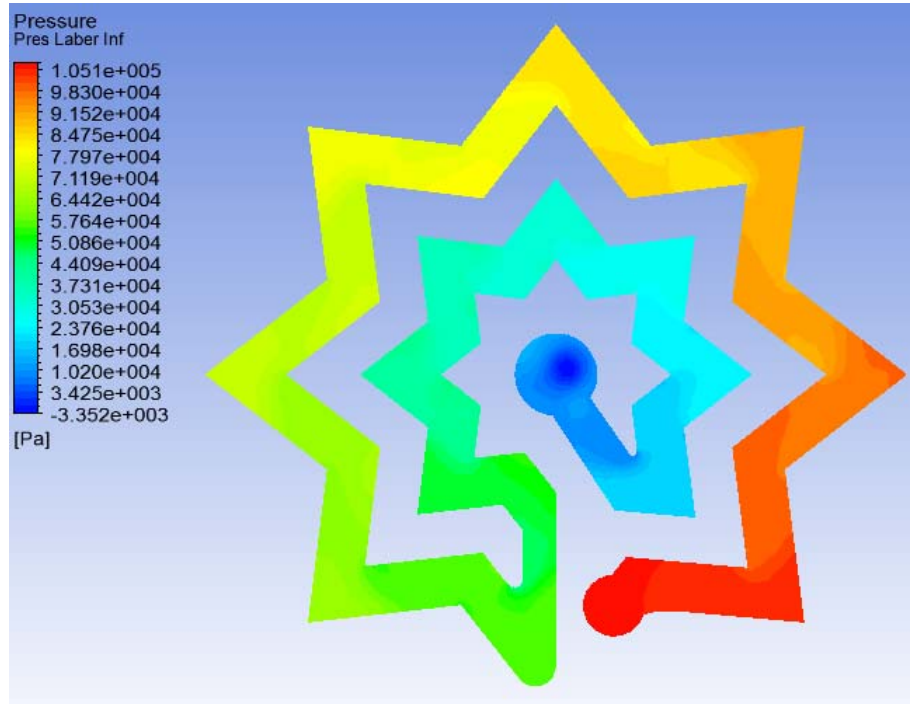


Figura 3. 113. Contorno de presión laberinto inferior. (Fuente: Autor)

- Pérdida de energía en la salida del emisor, se puede observar en la entrada una presión máxima de 199.3 Kpa mientras que en la salida una presión máxima de 1.64 Kpa, tenemos una pérdida de energía de 197.66 Kpa.

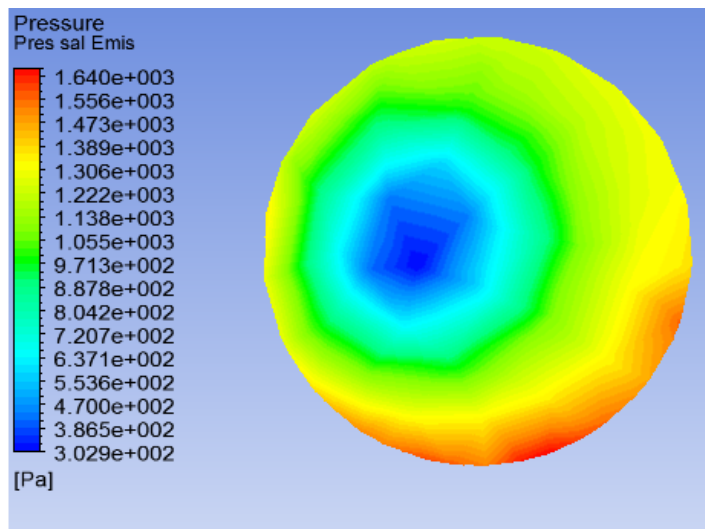


Figura 3. 114. Contorno de presión laberinto inferior. (Fuente: Autor)

3.3.2.4.3 Contornos de turbulencia y esfuerzos cortantes en la pared del emisor B geometría propuesta.

Las siguientes figuras muestran las zonas de más intensidad de la energía cinética turbulenta, donde los valores máximos se encuentran luego que el fluido pasa de los estrechamientos, así como también en la zona próxima al impacto del fluido contra la pared.

- Turbulencia generada en el laberinto superior. Turbulencia máxima 1.729 J/Kg

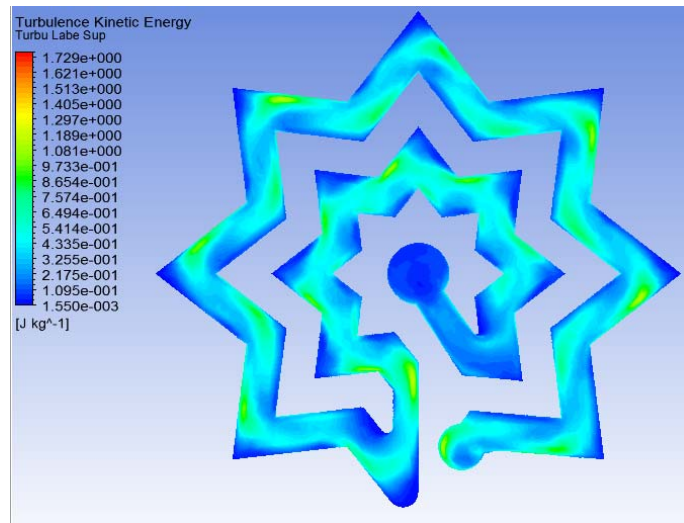


Figura 3. 115. Contorno de turbulencia laberinto superior. (Fuente: Autor)

- Turbulencia generada en el laberinto inferior. Turbulencia máxima 3.580 J/Kg

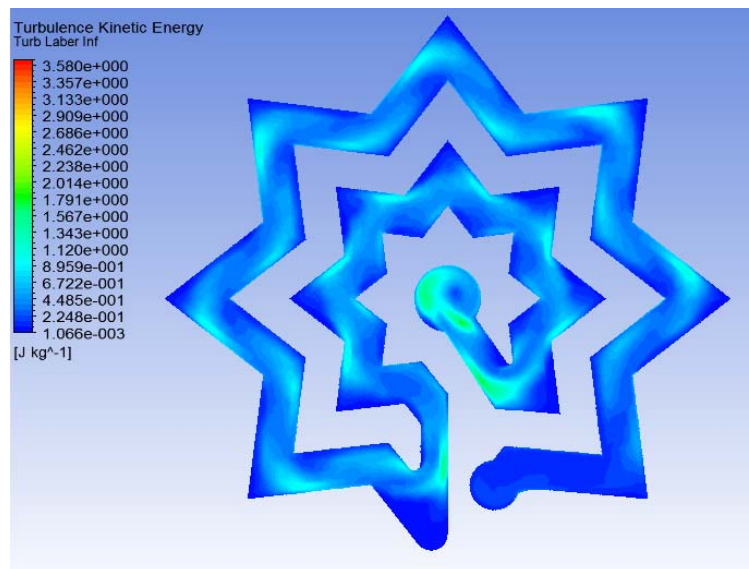


Figura 3. 116. Contorno de turbulencia laberinto inferior. (Fuente: Autor)

Al analizar las figuras anteriores se determinó que la turbulencia aumenta gradualmente como aumenta la velocidad.

En la figura 3.117 se muestran la distribución de fuerzas cortantes, así como su intensidad. A medida que la velocidad aumenta en las zonas más estrechas los esfuerzos cortantes se manifiestan con mayor intensidad.

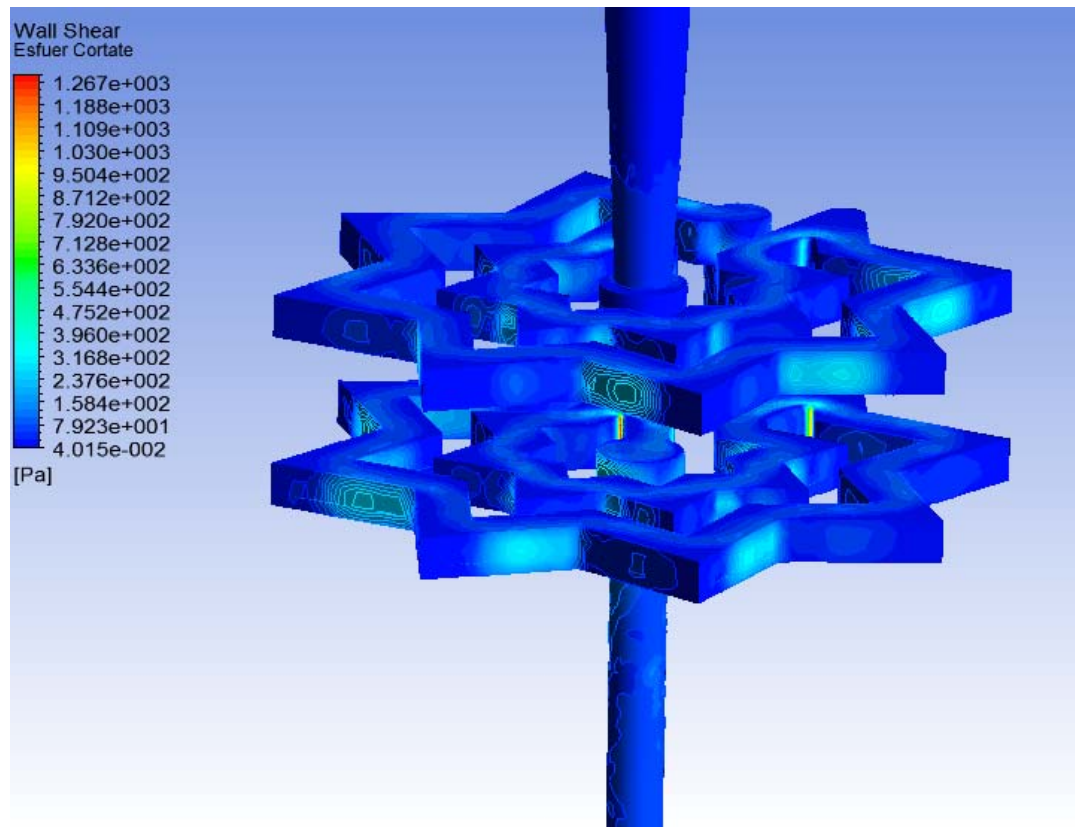


Figura 3. 117. Contorno de fuerzas cortantes en la pared. (Fuente: Autor)

En el análisis CFD se parametrizó la presión de entrada, para evaluar el funcionamiento del emisor a diferentes presiones, en la siguientes tablas se muestran los valores de velocidad y presión promedio ya que los puntos máximos se pueden observar en las figuras anteriores.

- El parámetro de velocidad de salida del emisor se considera entre los más importante ya que es una velocidad baja como se muestra en la tabla, para evitar daños en el suelo de los cultivos.

- En el ingreso al emisor se tiene velocidades bajas pero a medida que ingresa al laberinto superior aumenta la velocidad gradualmente, al ingresar al laberinto inferior la velocidad se mantiene aproximadamente igual y en este caso al salir del emisor la velocidad aumenta por lo que no es la adecuada al comparar con la velocidad del emisor Rain Bow Italy.

Tabla 3. 54. Resultados de velocidad obtenidos de la simulación

Presión	Velocidad Entrada del emisor	Velocidad Salida del emisor	Velocidad laberinto Superior	Velocidad laberinto Inferior
Bar	m/s	m/s	m/s	m/s
0,5	0,41	0,81	0,73	0,72
1	0,57	1,18	1,05	1,08
1,5	0,69	1,50	1,30	1,35
2	0,79	1,79	1,51	1,58
2,5	0,88	1,83	1,70	1,78
3	0,96	1,98	1,87	1,96

(Fuente: Autor)



- La presión de salida del emisor de goteo es baja como se muestra en la tabla debido a que existe gran cantidad de pérdida de energía en el transcurso que el fluido pasa por el laberinto superior e inferior.

Tabla 3. 55. Resultados de presión obtenidos de la simulación

Presión	Presión Entrada del emisor	Presión salida del emisor	Presión laberinto superior	Presión laberinto Inferior
bar	Pa	Pa	Pa	Pa
0,5	49772,64	415,20	37836,79	11978,41
1	99609,07	667,45	76244,19	24063,32
1,5	149470,16	854,47	115089,62	36275,10
2	199331,00	998,90	153972,06	48383,69
2,5	249204,07	1103,03	192826,63	60557,23
3	299079,67	1204,76	231892,52	72462,84

(Fuente: Autor)

Tabla 3. 56. Simulación del emisor A diseño propuesto por el autor

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
SIMULACIÓN CFD			
Emisor N°	01	Marca:	Emisor B
Fecha de Ejecución:	16/11/2016	Realizado por:	Juan Diego Zúñiga
		Revisado por:	Ing. Diego Núñez
Diámetro de tubería:	12 mm	Diámetro de entrada emisor :	2 mm
Relación de aspecto mínima:	1,1607	Relación de aspecto máxima:	27, 018
Número de elementos:	331267	Número de nodos:	113358
Tiempo de procesamiento:	3 horas	Número de procesadores:	8
RESULTADOS			
<p style="text-align: center;">Software</p> <p style="text-align: center;">$y = 5,3529x^{0,4657}$ $R^2 = 1$</p> <p style="text-align: center;">—●— Software - - - Potencial (Software)</p>			
RESULTADOS OBTENIDOS			
Presión	Caudal de salida	Caudal	Velocidad entrada Manguera
Bar	m^3/s	Litro/horas	m/s
0,5	1,08E-06	3,9	0,016
1	1,49E-06	5,4	0,021
1,5	1,80E-06	6,5	0,028
2	2,05E-06	7,4	0,015
2,5	2,28E-06	8,2	0,017
3	2,48E-06	8,9	0,018

(Fuente: Autor)

3.3.5 Simulación emisor C geometría propuesta.

3.3.5.1 Geometría de análisis

En la siguiente geometría se puede observar un doble laberinto es su trayectoria de flujo, el cual consta de muchos giros, que debe realizar el agua antes de salir del emisor de goteo.

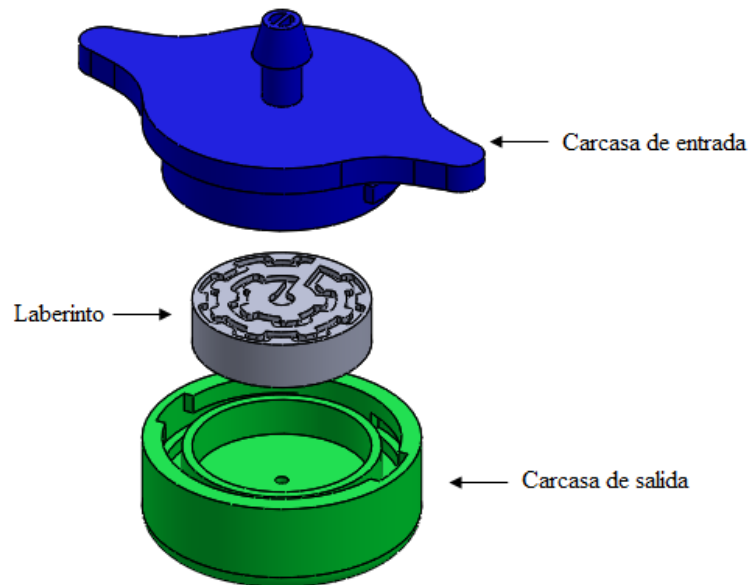


Figura 3. 118. Geometría de las partes del emisor de goteo. (Fuente: Autor)

La siguiente figura muestra el volumen de agua que se genera en el interior del emisor de goteo.

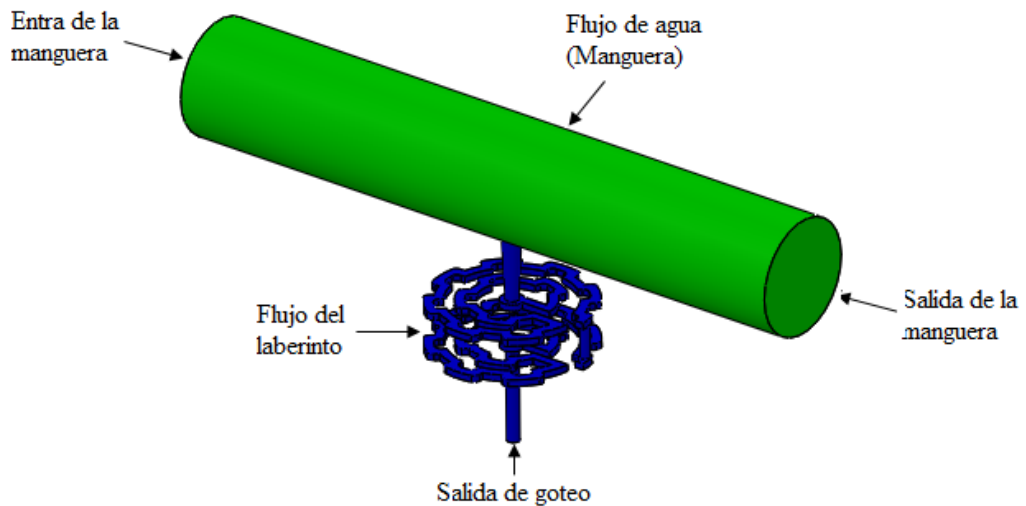


Figura 3. 119. Geometría del flujo de agua. (Fuente: Autor)

3.3.5.2 Verificación de la calidad de la malla

Para el mallado del emisor C se siguió los mismos pasos descritos en el emisor Rinbow ya que es la malla que mejor resultados tiene en los cálculos.

En las siguientes figuras se observara diferentes vistas de la malla generada.

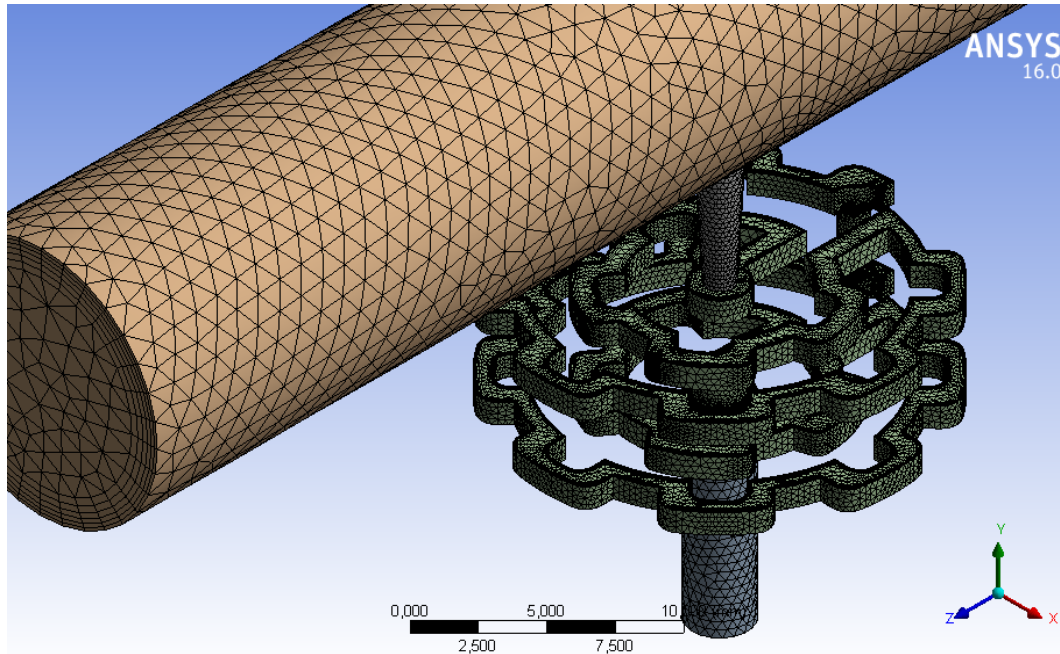


Figura 3. 120. Vista isométrica del mallado emisor A. (Fuente: Autor)

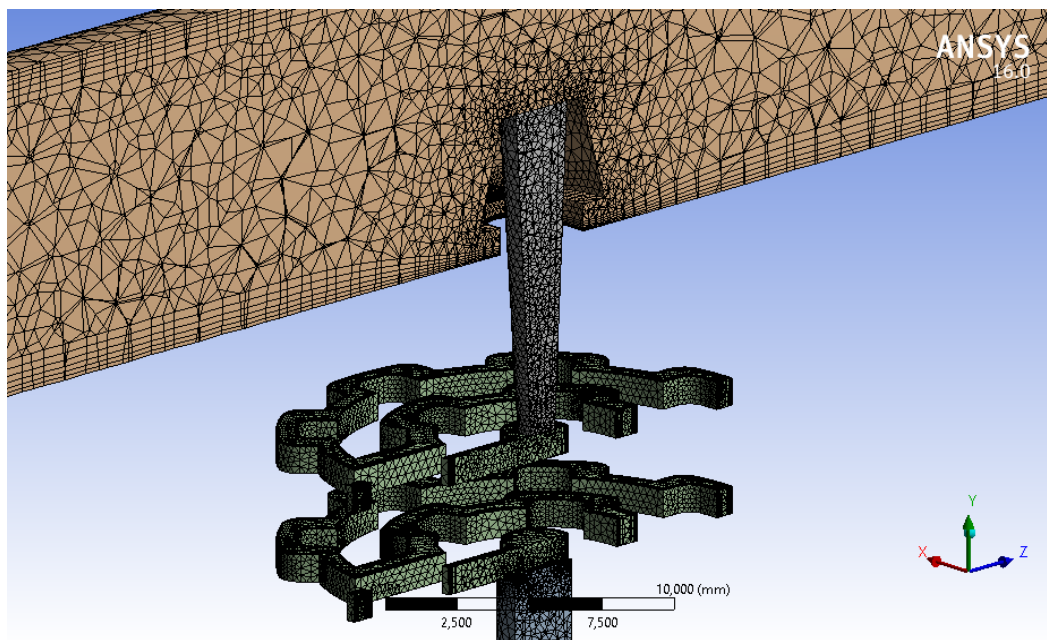


Figura 3. 121. Vista de corte del mallado del emisor A. (Fuente: Autor)

Evaluación de la malla

La malla del emisor C consta de 169281 nodos y 465611 elementos, esta gran cantidad de elementos y nodos se debe a que tenemos una geometría compleja. Está formada por tetraedros y prismas de base triangular.

Relación de aspecto: En el capítulo anterior se dijo que un valor aceptable de la relación de aspecto puede ser menor de 50. La relación de aspecto (*Aspect ratio*) en este caso es, mínimo 1,1586 y máximo 34,253.

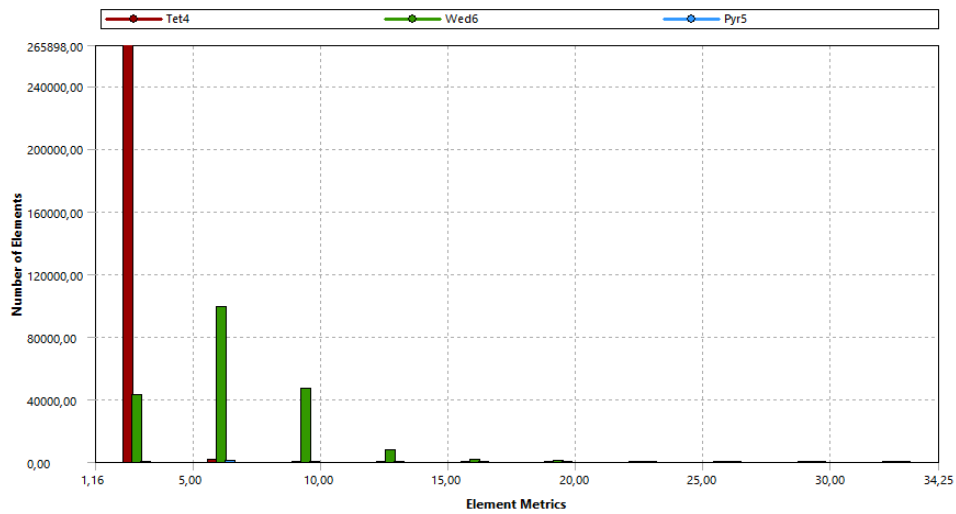


Figura 3. 122. Evaluación de la relación de aspecto. (Fuente: Autor)

Oblicuidad (Skewness): El mallado del emisor C tiene una oblicuidad mínima de $1,488e - 5$ y na máxima de 0,973 este valor es aceptable de acuerdo a lo que recomienda el capítulo de teoría.

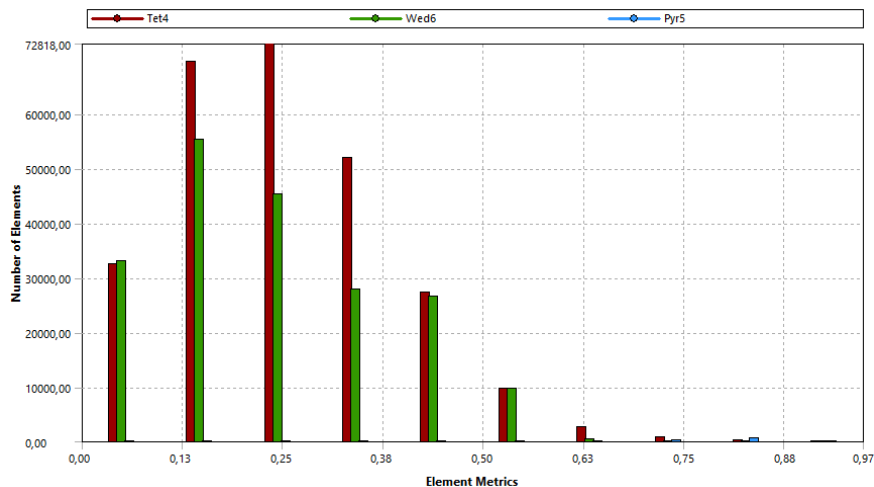


Figura 3. 123. Evaluación de oblicuidad. (Fuente: Autor)

Calidad ortogonal (Orthogonal Quality): En la mallado del emisor C tenemos una calidad ortogonal de malla mínima de 0,03712 y una máxima de 0,999 por lo que estos valores se encuentran en el rango recomendado en el capítulo anterior que debe ser menor a 1.

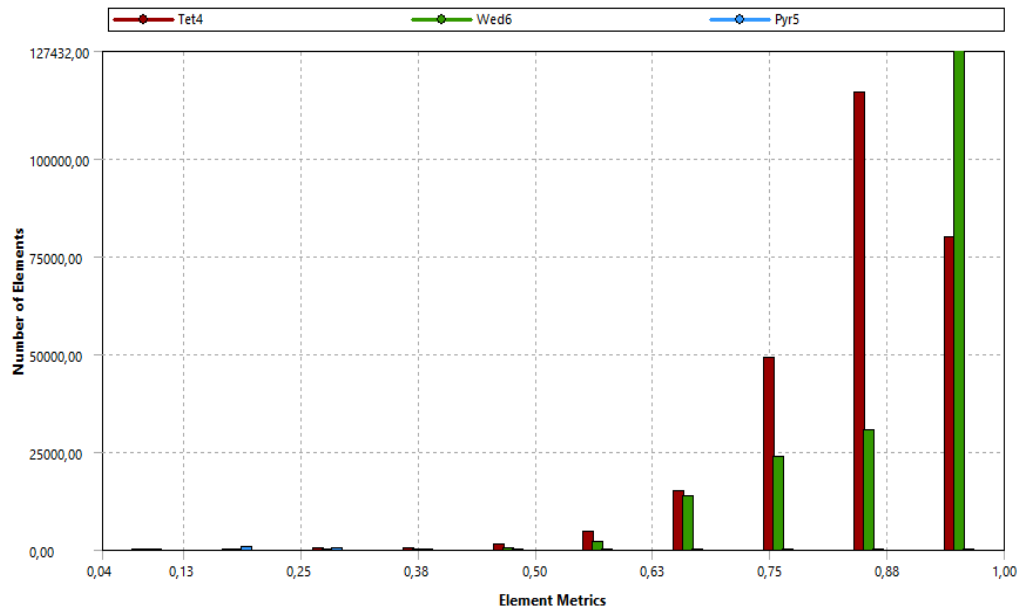


Figura 3. 124. Evaluación de la calidad ortogonal. (Fuente: Autor)

3.3.5.3 Configuración de la solución

Para la configuración de la solución del emisor de goteo C se procedió de igual manera que en caso del emisor RainBow Italy sin ninguna modificación ya que el primer análisis nos da resultados confiables.

Convergencia.

La figura 3.124 se puede observar la convergencia residual del emisor de goteo A este emisor es el primer diseño realizado para evaluar su funcionamiento.

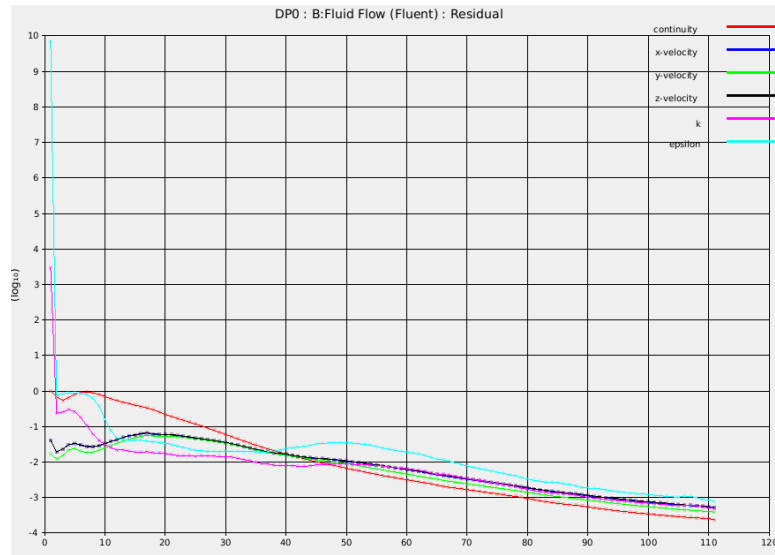


Figura 3. 125. Convergencia con residuales escalados. (Fuente: Autor)

En figura 3.125 se detalla la convergencia con balance de flujo volumetrico donde a medida que el número de iteraciones avanza el flujo es constante.

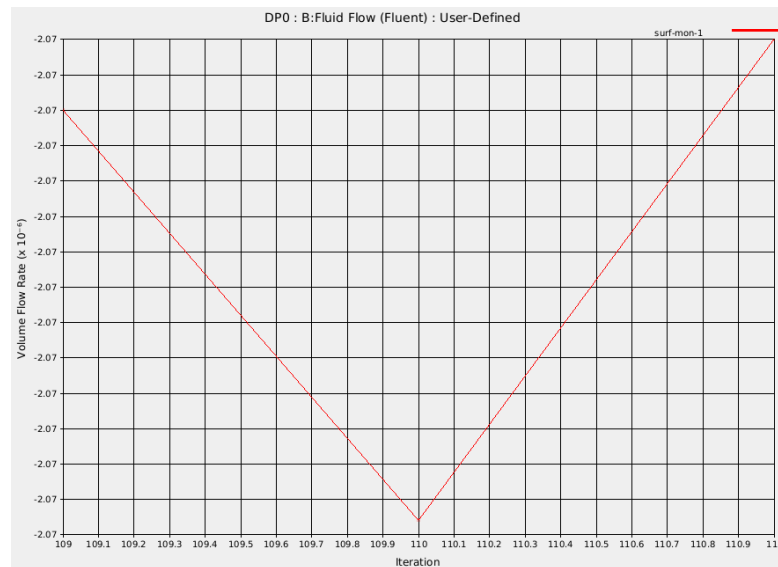


Figura 3. 126. Convergencia con Balance de flujo volumétrico. (Fuente: Autor)

3.3.3.4 Resultados del análisis CFD

3.3.2.4.1 Contornos de Velocidad del emisor C geometría propuesta.

A continuación se observa los contornos de velocidad generados en cada una de las secciones consideradas como más importantes en este estudio las cuales están explicadas en la figura 3.65.

- Contorno de velocidad en la entrada del emisor de goteo, donde se aprecia una velocidad máxima 0.887 m/s en el centro de la sección y velocidad mínima de 0 m/s junto a la pared.

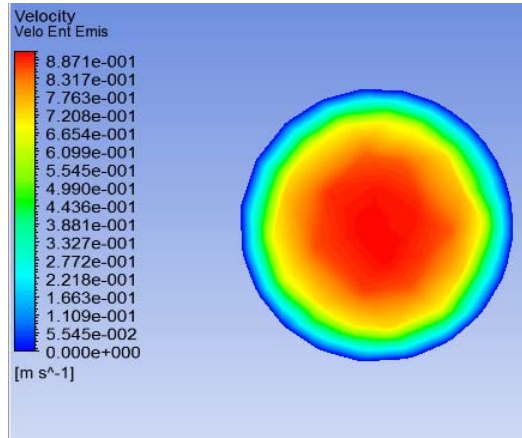


Figura 3. 127. Contorno de velocidad en la entrada del emisor. (Fuente: Autor)

- Contor de velocidad en laberinto superior por donde el agua hace su primer recorrido. Se observa el aumento de la velocidad maxima a 4.86 m/s y minima de 0 m/s junto a la pared al ingresar al laberinto.

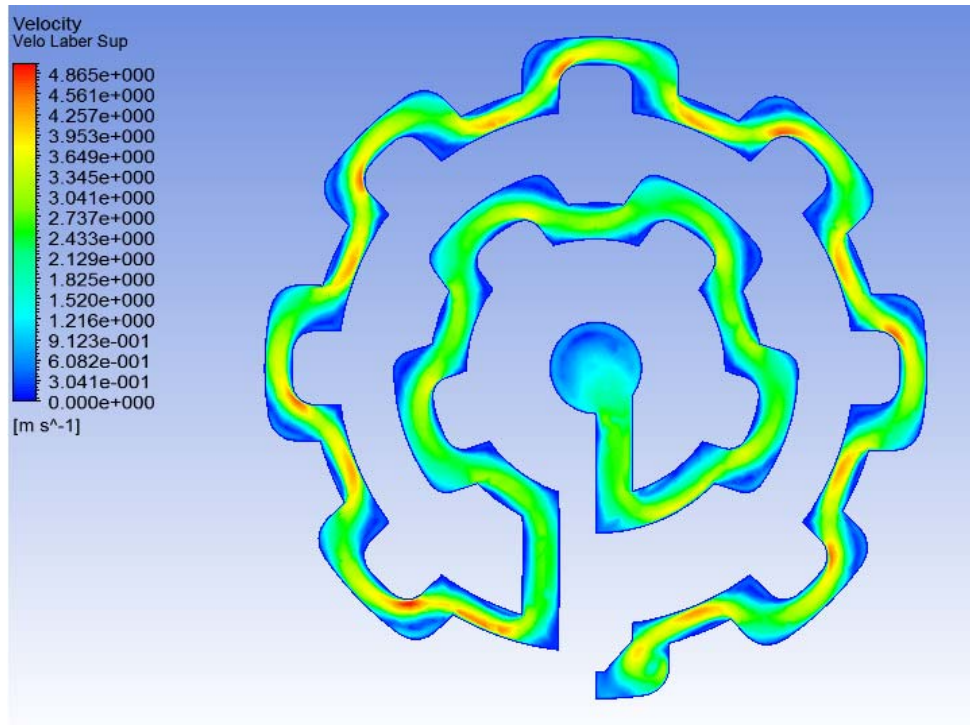


Figura 3. 128. Contorno de velocidad laberinto superior. (Fuente: Autor)

- Contorno de velocidad en el laberinto inferior de igual manera tenemos una velocidad máxima de 4.499 m/s y mínima de 0 m/s junto a la pared, pero en la salida del laberinto tenemos baja velocidad aproximadamente de 0.281 m/s.

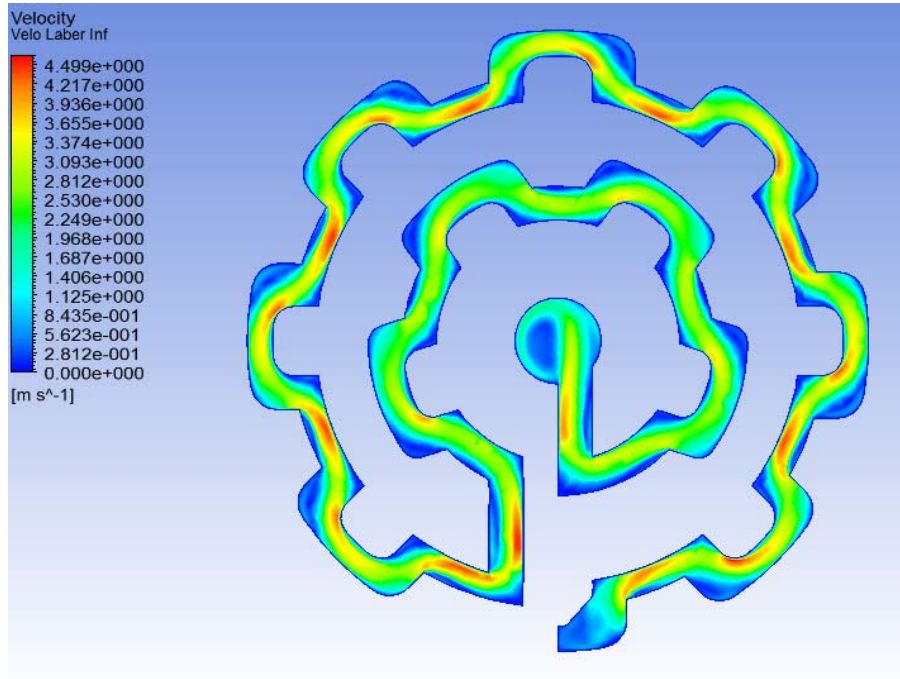


Figura 3. 129. Contorno de velocidad laberinto Inferior. (Fuente: Autor)

- Contorno de velocidad a la salida del emisor, en este diseño se puede observar una velocidad maxima de 0,945 m/s y una minima de 0,118 m/s . este diseño presenta mejores condiciones de velocidad en la salida.

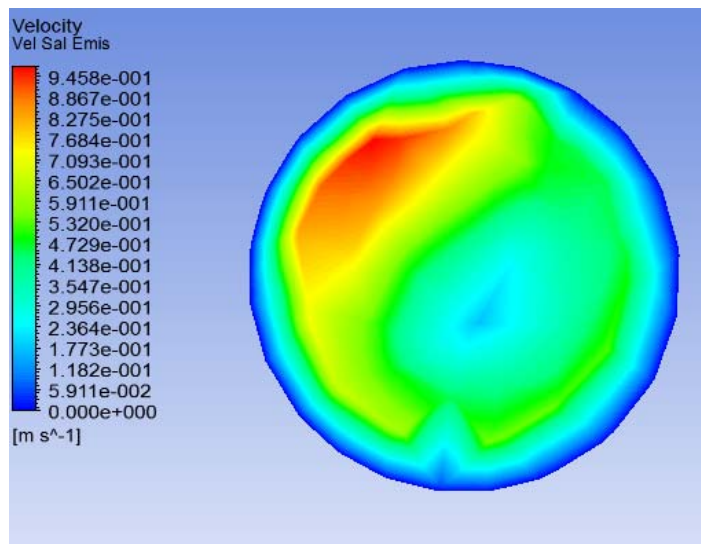


Figura 3. 130. Contorno de velocidad salida del emisor. (Fuente: Autor)

- Pérdida de energía en el laberinto inferior. Se observa una presión máxima en la entrada del laberinto de 95.33 Kpa y una presión mínima de 3.067 Kpa a la salida del laberinto.

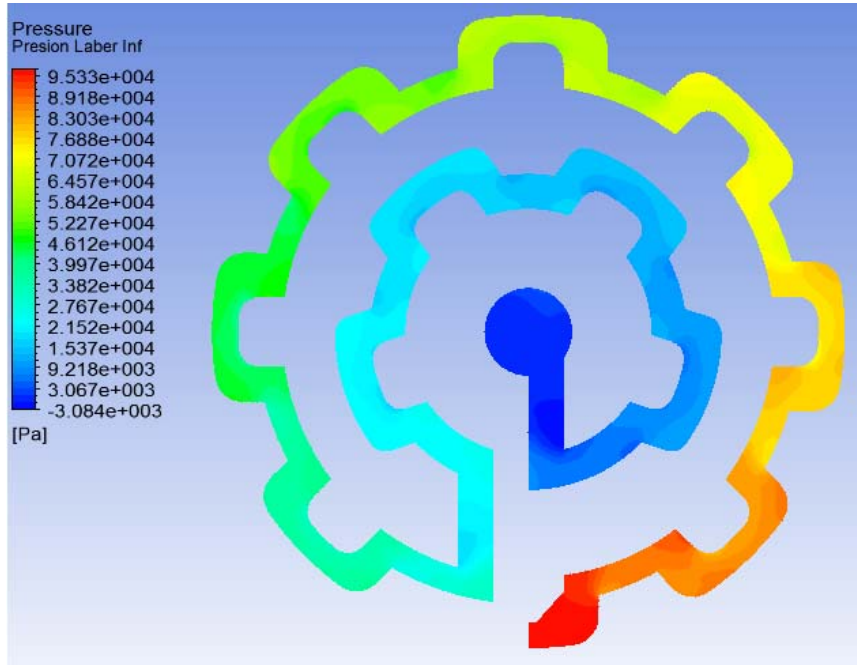


Figura 3. 133. Contorno de presión laberinto inferior. (Fuente: Autor)

- Pérdida de energía en la salida del emisor, se puede observar en la entrada una presión máxima de 199.6 Kpa mientras que en la salida una presión máxima de 0.163 Kpa, tenemos una pérdida de energía de 199.43 Kpa.

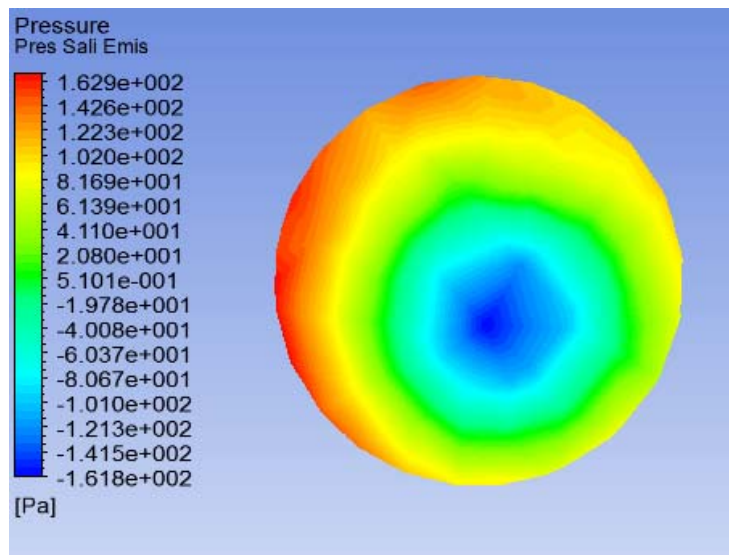


Figura 3. 134. Contorno de presión laberinto inferior. (Fuente: Autor)

3.3.2.4.3 Contornos de turbulencia y esfuerzos cortantes en la pared del emisor C geometría propuesta.

Las siguientes figuras muestran las zonas de más intensidad de la energía cinética turbulenta, donde los valores máximos se encuentran luego que el fluido pasa de los estrechamientos, así como también en la zona próxima al impacto del fluido contra la pared.

- Turbulencia generada en el laberinto superior. Turbulencia máxima 1.834 J/Kg

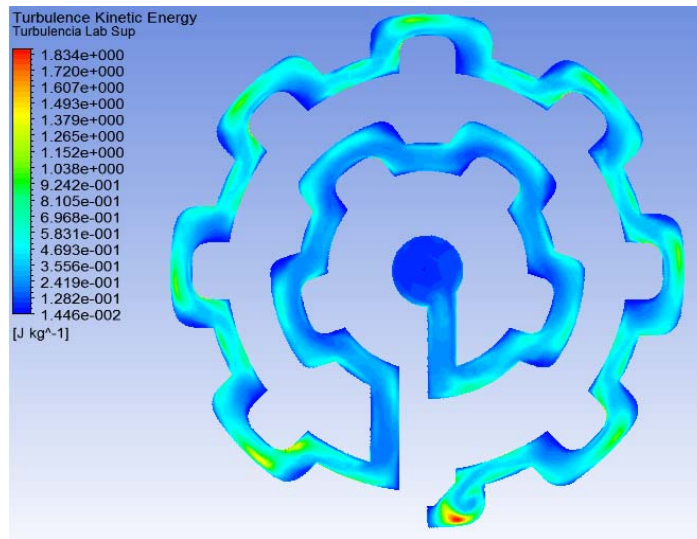


Figura 3. 135. Contorno de turbulencia laberinto superior. (Fuente: Autor)

- Turbulencia generada en el laberinto inferior. Turbulencia máxima 1.937 J/Kg

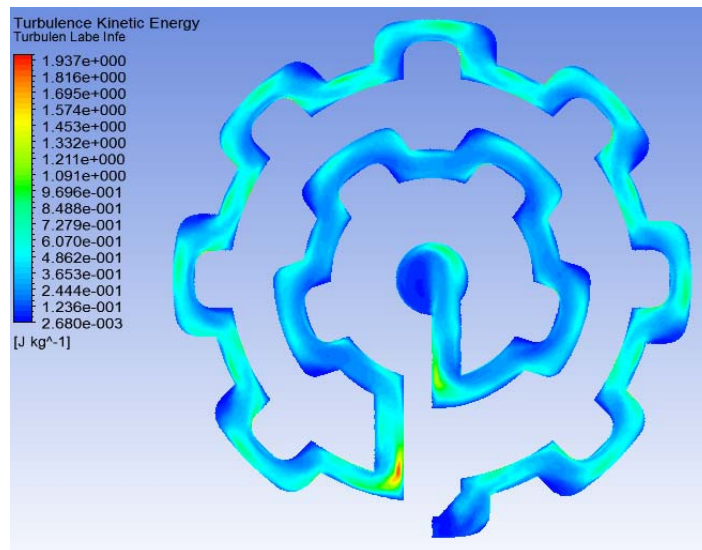


Figura 3. 136. Contorno de turbulencia laberinto inferior. (Fuente: Autor)

Al analizar las figuras anteriores se determinó que la turbulencia aumenta gradualmente como aumenta la velocidad.

En la siguiente figura se muestran la distribución de fuerzas cortantes, así como su intensidad. A medida que la velocidad aumenta en las zonas más estrechas los esfuerzos cortantes se manifiestan con mayor intensidad.

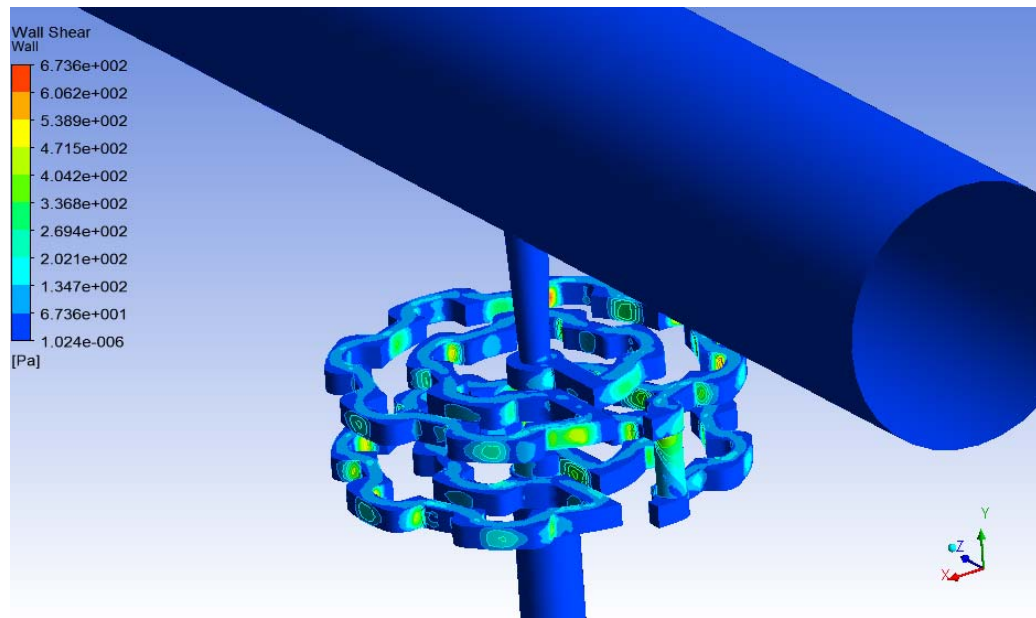


Figura 3. 137. Contorno de fuerzas cortantes en la pared. (Fuente: Autor)

En el análisis CFD se parametrizó la presión de entrada, para evaluar el funcionamiento del emisor a diferentes presiones, en las siguientes tablas se muestran los valores de velocidad y presión promedio ya que los puntos máximos se pueden observar en las figuras anteriores.

- El parámetro de velocidad de salida del emisor se considera entre los más importante ya que es una velocidad baja como se muestra en la tabla, para evitar daños en el suelo de los cultivos.
- En el ingreso al emisor se tiene velocidades bajas pero a medida que ingresa al laberinto superior aumenta la velocidad gradualmente, pero al ingresa al laberinto inferior la velocidad descende de la misma forma hasta conseguir salir del emisor a una velocidad baja se puede considerar que es la adecuada al comparar con la velocidad del emisor Rain Bow Italy.

Tabla 3. 57. Resultados de velocidad obtenidos de la simulación

Presión	Velocidad Entrada del emisor	Velocidad Salida del emisor	Velocidad laberinto Superior	Velocidad laberinto Inferior
bar	m/s	m/s	m/s	m/s
0,5	0,36	0,23	0,79	0,74
1	0,55	0,40	1,19	1,13
1,5	0,69	0,55	1,52	1,43
2	0,81	0,69	1,79	1,69
2,5	0,92	0,78	2,03	1,93
3	1,02	0,88	2,25	2,14

(Fuente: Autor)



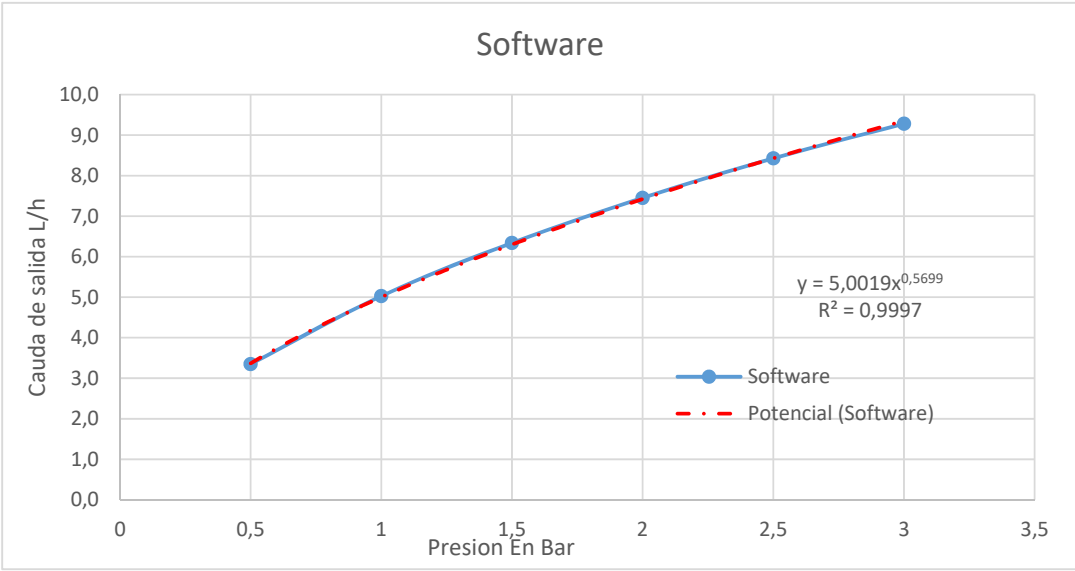
- La presión de salida del emisor de goteo es baja como se muestra en la tabla debido a que existe gran cantidad de pérdida de energía en el transcurso que el fluido pasa por el laberinto superior e inferior.

Tabla 3. 58. Resultados de presión obtenidos de la simulación

Presión	Presión Entrada del emisor	Presión salida del emisor	Presión laberinto superior	Presión laberinto Inferior
bar	Pa	Pa	Pa	Pa
0,5	49772,64	12,67	37853,42	9063,8985
1	99609,07	10,32	75473,09	18097,505
1,5	149470,16	7,48	113205,1	27277,834
2	199331,00	3,29	150738,38	36393,407
2,5	249204,07	-2,76	188205,38	45743,597
3	299079,67	3,71	226045,21	55150,702

(Fuente: Autor)

Tabla 3. 59. Simulación del emisor C diseño propuesto por el autor

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
SIMULACIÓN CFD			
Emisor N°	01	Marca:	RainBow Italy
Fecha de Ejecución:	16/11/2016	Realizado por:	Juan Diego Zúñiga
		Revisado por:	Ing. Diego Núñez
Diámetro de tubería:	12 mm	Diámetro de entrada emisor :	2 mm
Relación de aspecto mínima:	1,1607	Relación de aspecto máxima:	27, 018
Número de elementos:	465611	Número de nodos:	169281
Tiempo de procesamiento:	3 horas 20 minutos	Número de procesadores:	8
RESULTADOS			
			
RESULTADOS OBTENIDOS			
Presión	Caudal de salida	Caudal	Velocidad entrada Manguera
Bar	m^3/s	Litro/horas	m/s
0,5	9,30E-07	3,3	0,016
1	1,40E-06	5,0	0,021
1,5	1,76E-06	6,3	0,028
2	2,07E-06	7,5	0,015
2,5	2,34E-06	8,4	0,017
3	2,58E-06	9,3	0,018

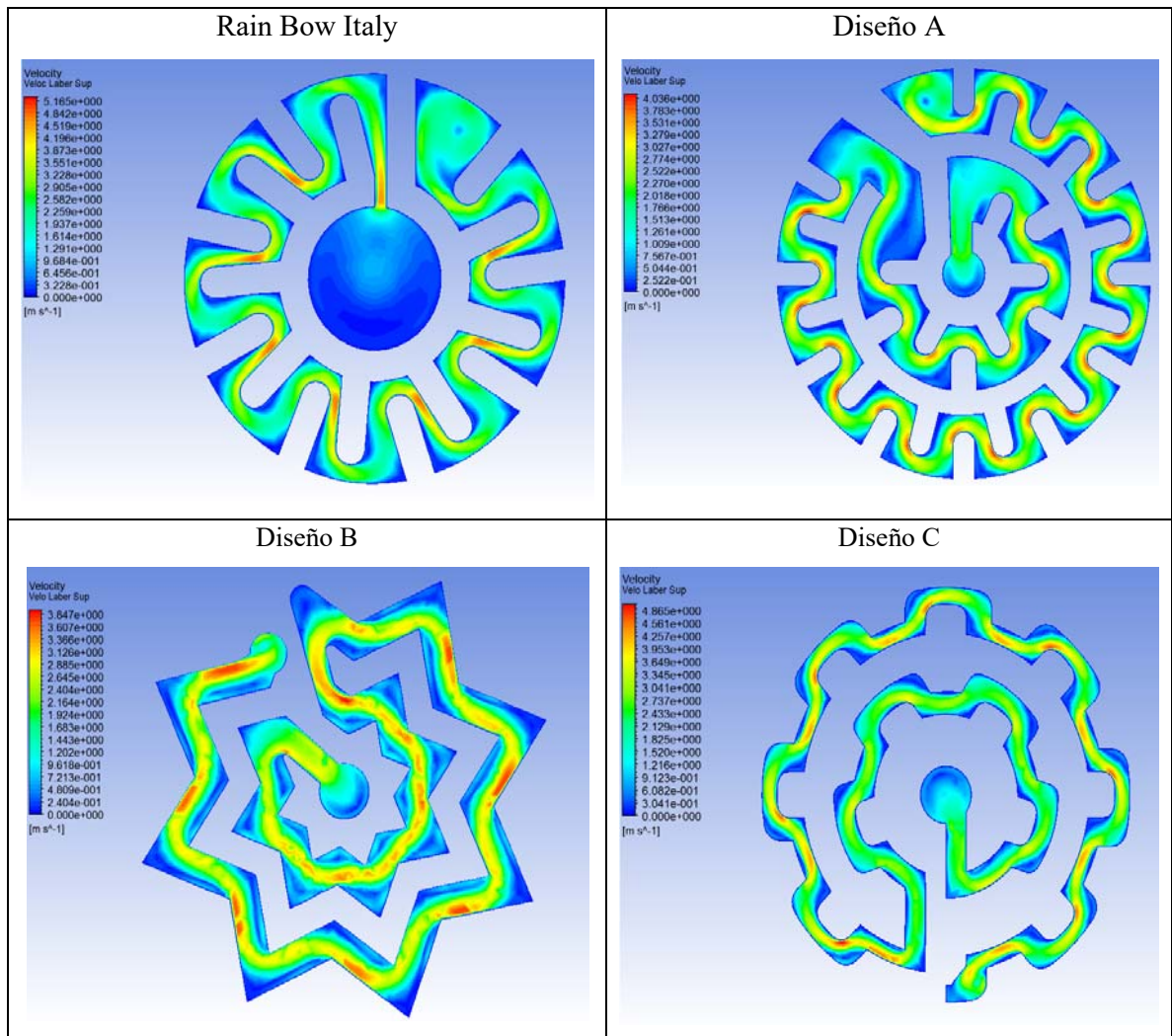
(Fuente: Autor)

3.3.5 Selección del diseño óptimo del emisor de goteo.

En el 2008 *L. Yunkai et al.* [6] hace referencia a (Shi et al., 1995) donde dice que los contaminantes pueden ser depositados donde la energía se disipa a causa de regiones de baja velocidad y esto puede causar la obstrucción de la ruta de flujo. Para mejorar la resistencia a la obstrucción la vía de flujo debe ser diseñada para evitar o reducir la existencia de regiones de baja velocidad.

El cambio de la estructura de la geometría de la trayectoria de flujo es una aproximación para mejorar la resistencia a la obstrucción. Una la trayectoria de flujo estrecha impide que las partículas suspendidas grandes no puedan pasar fácilmente. En la siguiente tabla se compara la distribución de velocidades para cada geometría.

Tabla 3. 60. Comparación de velocidades los emisores propuestos por el autor



(Fuente: Autor)

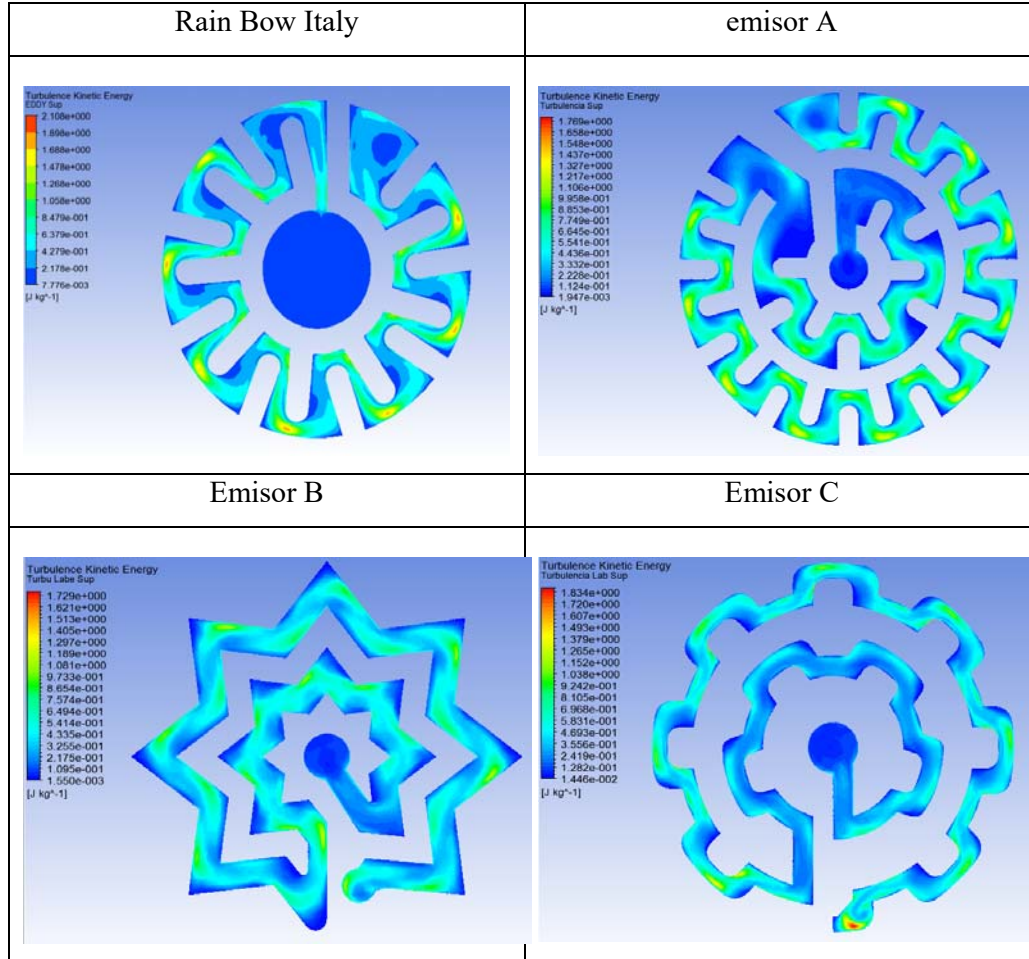
Como se puede observar en tabla anterior la primera geometría se obtuvo a partir de un emisor adquirido en el mercado local este emisor tiene una velocidad máxima superior a los 3 emisores diseñados pero la geometría tiene una gran cantidad de estrechamientos que pueden provocar la obstrucción. De las 3 geometrías siguientes se escogió el diseño C ya que tiene la velocidad máxima de 4,865 m/s y como se observa tiene regiones pequeñas de velocidad baja ya que su construcción geométrica tiene arcos suaves, esto también aumentará la capacidad de autolimpieza. Mientras que en el diseño A se observa regiones de baja velocidad donde no existe arcos suaves. En el diseño B de igual manera existen regiones de baja velocidad en las esquinas de la estrella.

Características de la distribución de la intensidad de la turbulencia

La intensidad de la turbulencia es una variable física y puede utilizarse como uno de los índices para describir las propiedades de disipación de energía de los emisores. Mediante la investigación experimental, Murray (1970) mencionada en el 2008 *L. Yunkai et al.* [6] demostró que la reducción en la velocidad de sedimentación de partículas aumentó con respecto a la creciente intensidad de la turbulencia del flujo. Esto indicaba que la capacidad de carga de los contaminantes en flujo turbulento aumentaba con la intensidad de la turbulencia. Por lo tanto, al aumentar la intensidad turbulenta la capacidad de carga de contaminantes aumenta y podría utilizarse como uno de los índices para describir la resistencia al taponamiento de los emisores. [6]

En la siguiente tabla se observa la intensidad turbulenta en cada uno de los diseños planteados. En el emisor Rain Bow Italy tenemos una intensidad turbulenta máxima de 2.108 J/kg y una intensidad turbulenta en la mayor parte del trayecto de flujo de 0.847 J/kg. En el emisor A se tiene una intensidad turbulenta máxima de 1,76 J/kg y una intensidad en la mayor parte de la trayectoria de 0,77 J/kg. En el emisor B se tiene una intensidad turbulenta máxima de 1,72 J/kg y una intensidad en la mayor parte de la trayectoria de 0,757 J/kg pero muestra mayor estabilidad a lo largo de la trayectoria. En el emisor C se tiene una intensidad turbulenta máxima de 1,83 J/kg y una intensidad en la mayor parte de la trayectoria de 0,81 J/kg esta geometría tiene mayor intensidad turbulenta que los otros dos diseños y de igual manera tiene una estabilidad a los largo de la trayectoria.

Tabla 3. 61. Comparación de turbulencia de los emisores propuestos por el autor



(Fuente: Autor)

Velocidades promedios

En la tabla que se muestra a continuación se observa las velocidades promedio en cada una de las partes importantes del emisor. El parámetro que se tomó en cuenta es la velocidad de salida que debe ser baja y el emisor C presenta la velocidad más baja. En comparación con los otros dos diseños.

Tabla 3. 62. Comparación de velocidades

	Presión	Velocidad Entrada emisor	Velocidad salida del emisor	Velocidad laberinto Superior	Velocidad laberinto Inferior
Diseños	Bar	m/s	m/s	m/s	m/s
Emisor A	2	0,66	1,36	1,59	1,58
Emisor B	2	0,79	1,79	1,51	1,58
Emisor C	2	0,81	0,69	1,79	1,69

(Fuente: Autor)

Pérdidas de energía en los emisores

Las pérdidas que se generadas en el interior del emisor de goteo se debe a repentinos cambios de dirección donde la fricción aumenta y también la turbulencia del flujo describen las propiedades de disipación de energía de los emisores.

Tabla 3. 63. Comparación de las pérdidas de energía

	Presión	Presión Entrada emisor	Presión salida emisor	Perdida de energía
Diseños	bar	Kpa	Kpa	Kpa
Emisor A	2	199,63	0,77	198,86
Emisor B	2	199,33	1,00	198,33
Emisor C	2	199,33	0,0033	199,33

(Fuente: Autor)

Descargas de caudal a diferentes presiones.

La tabla 3.64 muestran el caudal de descarga simulados de los diseño de los 3 emisores de goteo bajo diferentes presiones, los resultados de los índices del régimen de flujo (x) y el coeficiente de descarga (C).

Los índices del régimen de flujo clasifican a los emisores en flujo totalmente turbulento para regímenes de 0,5 y en emisores de flujo mayormente turbulento para regímenes de 0,6 según la (Tabla 2.4).

En este caso se selecciona el emisor C que tienen un régimen de flujo 0,56 y se clasifica como un emisor de flujo mayormente turbulento y constante de descarga de 5.

Tabla 3. 64. Descargas de caudal a diferentes presiones

Caudal de descarga L/h						constante C	Régimen de flujo exponente x	R^2
Presión de trabajo bar								
0,5	1	1,5	2	2,5	3			
3,0	4,4	5,6	6,5	7,3	8,1	4,42	0,551	0,99980
3,9	5,4	6,5	7,4	8,2	8,9	5,35	0,4657	1,00000
3,3	5,0	6,3	7,5	8,4	9,3	5,0	0,5699	0,99970

(Fuente: Autor)

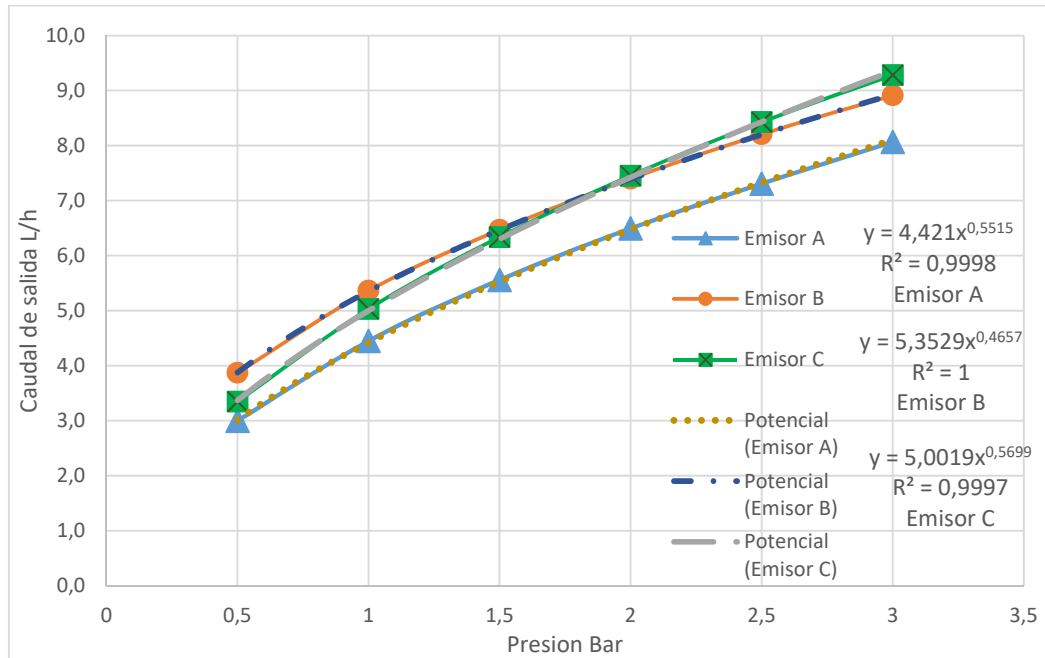


Figura 3. 138. Caudal vs presión de los 3 diseños propuestos. (Fuente: Autor)

3.4 Fabricación del emisor de goteo mediante impresión 3D.

Una vez seleccionado el tipo de geometría que mejor respuesta presenta en su funcionamiento se procede a la fabricación en la cual se utiliza un método de prototipado rápido que está siendo utilizado en la actualidad para la construcción de modelos previos antes de que un elemento sea producido en grandes cantidades.

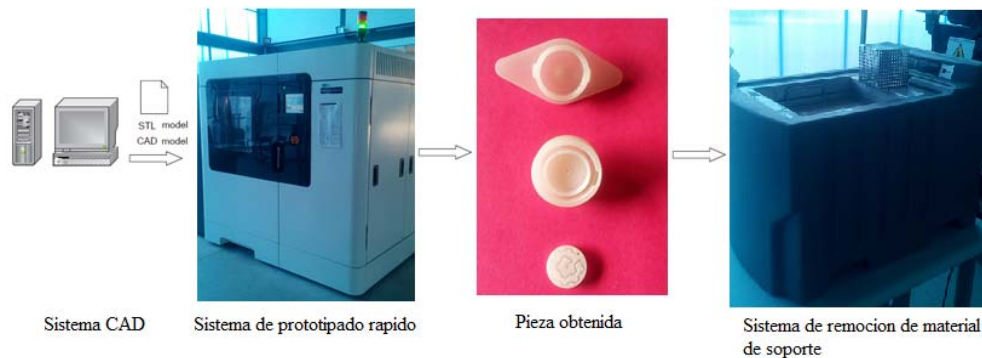


Figura 3. 139. Pasos para obtener una impresión 3D. (Fuente: Autor)

3.4.1 Impresora 3D Fortus 900mc

Es el sistema FDM más avanzado, entregando una extraordinaria agilidad, alta precisión y retorno de inversión, se puede utilizar 11 opciones de materiales termoplásticos de una gran textura externa. [37]



Figura 3. 140. Impresora 3D. (Fuente: Autor)

3.4.2 Material ABSi

Es un material ideal para el modelado conceptual, el prototipado funcional y la fabricación digital directa. Su fuerza es superior al ABS estándar, y la naturaleza translúcida del ABSi es beneficiosa para el monitoreo del flujo de material y la transmisión de luz, más comúnmente utilizados para aplicaciones médicas y automotrices. Cuando se combina con un sistema de producción Fortus 3D, ABSi le ofrece ser dimensionalmente precisos, duraderos y mantener su forma en el tiempo. [37]




Tabla 3. 65. Propiedades mecánicas del material ABSi [37]

MECHANICAL PROPERTIES ¹	TEST METHOD	ENGLISH	METRIC
Tensile Strength (Type 1, 0.125", 0.2"/min)	ASTM D638	5,400 psi	37 MPa
Tensile Modulus (Type 1, 0.125", 0.2"/min)	ASTM D638	277,700 psi	1,920 MPa
Tensile Elongation (Type 1, 0.125", 0.2"/min)	ASTM D638	4.4%	4.4%
Flexural Strength (Method 1, 0.05"/min)	ASTM D790	8,980 psi	62 MPa
Flexural Modulus (Method 1, 0.05"/min)	ASTM D790	278,000 psi	1,920 MPa
IZOD Impact, notched (Method A, 23°C)	ASTM D256	1.8 ft-lb/in	96.4 J/m
IZOD Impact, un-notched (Method A, 23°C)	ASTM D256	3.6 ft-lb/in	191.1 J/m

Tabla 3. 66. Propiedades térmicas del material ABSi [37]

THERMAL PROPERTIES ²	TEST METHOD	ENGLISH	METRIC
Heat Deflection (HDT) @ 66 psi, 0.125" unannealed	ASTM D648	188°F	86°C
Heat Deflection (HDT) @ 264 psi, 0.125" unannealed	ASTM D648	163°F	73°C
Glass Transition Temperature (Tg)	DMA (SSYS)	240°F	116°C
Coefficient of Thermal Expansion	ASTM D696	6.7x10-06 in/in/°F	12.1x10-05 mm/mm/°C
Melting Point	-----	Not Applicable ³	Not Applicable ³

Tabla 3. 67. Disponibilidad del material ABSi [37]

SYSTEM AVAILABILITY	LAYER THICKNESS CAPABILITY	SUPPORT STRUCTURE	AVAILABLE COLORS
Fortus 400mc™	0.013 inch (0.330 mm)	Soluble Supports	 Translucent Natural
Fortus 900mc™	0.010 inch (0.254 mm)		 Translucent Amber
	0.007 inch (0.178 mm)		 Translucent Red
	0.005 inch (0.127 mm)		

3.4.3 Remoción de material de soporte

Debido a que en las impresiones en tres dimensiones existen figuras con geometrías intrincadas o voladizos es necesario que un material de soporte sea impreso previamente para evitar que la pieza sufra alguna deformación, y luego este material debe ser removido correctamente en una máquina especializada para dicho fin para no dañar la pieza.

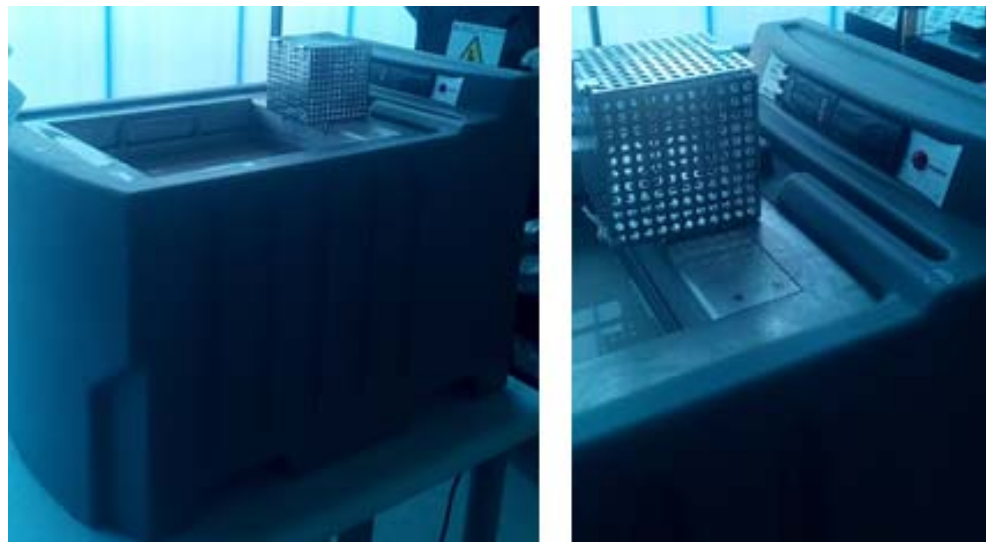


Figura 3. 141. Máquina para remoción de material de soporte. (Fuente: Autor)

Tabla 3. 68. Impresión 3D de emisor C seleccionado anteriormente.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
IMPRESIÓN 3D			
Emisor N°	01	Marca de la impresora:	FORTUS 900 mc
Fecha de Ejecución:	15/12/2016	Realizado por:	Juan Diego Zúñiga
		Revisado por:	Ing. Diego Núñez
Dimensiones del espacio de trabajo:	914 x 610 x 914 mm	Material:	ABSi termoplástico
Resistencia a la tracción :	37 Mpa	Resistencia a la flexión :	62 Mpa
Deflexión térmica:	86 °C	Constante dieléctrica :	3,4 – 3,6
Tiempo de construcción:	1 horas 16 minutos	Capas:	84
Boquilla (Tips):	T16/T12	Modelo (Tip) T16:	0,254mm
		Modelo (Tip) T12:	0,178mm
Temperatura de trabajo:	79°C – 80°C	Soporte (Tip):	T12SR20
RESULTADO OBTENIDOS			
 			
 			

(Fuente: Autor)

3.5 Pruebas de funcionamiento.

3.5.1 Pruebas de funcionamiento del emisor Rainbow Italy.

En la tabla 3.69 se muestran los datos obtenidos en el estudio de medición de caudales en el capítulo 3 sección 3.1 y en el análisis CFD en el capítulo 3 sección 3.3.

Tabla 3. 69. Comparación de caudales

Presión bar	Software	Medición	Error (Software)
	Caudal l/h	Caudal l/h	
0,5	2,0	2,55	26,59 %
1	2,9	3,52	17,93 %
1,5	3,7	4,176	11,81 %
2	4,4	5,2	16,01 %
2,5	5,0	5,6	11,47 %
3	5,5	6,46	14,68 %
		Promedio	16,48 %

(Fuente: Autor)

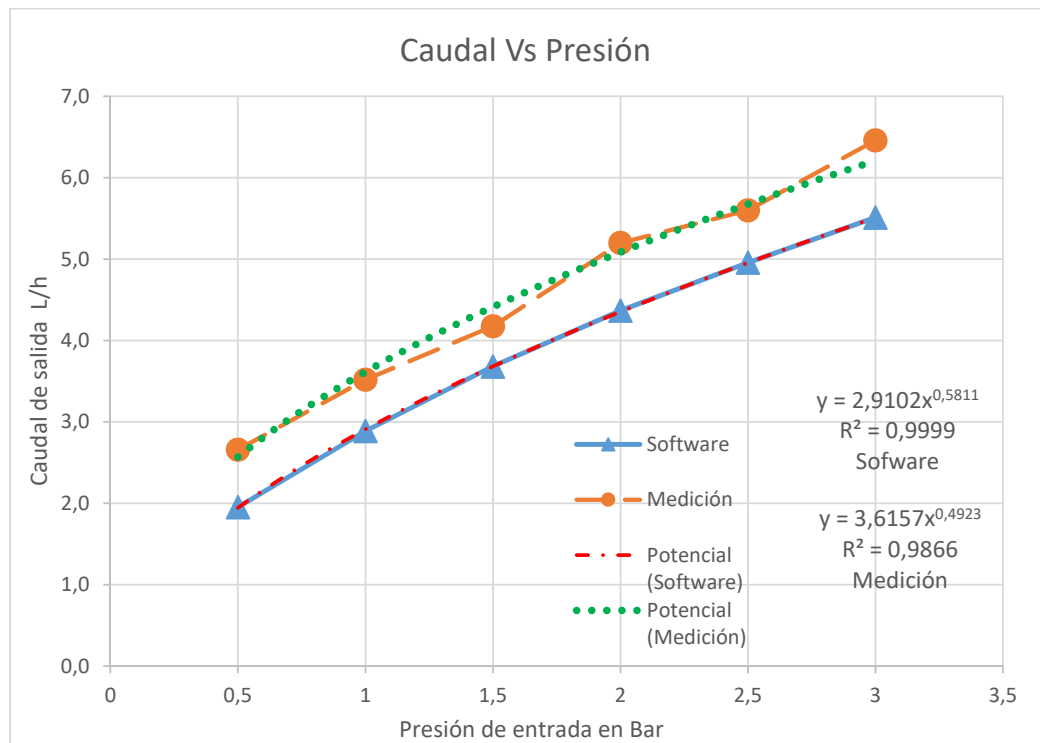


Figura 3. 142. Caudal Vs presión Software y medición. (Fuente: Autor)

En la tabla 3.69 tenemos el cálculo del error generado entre el caudal medido y los resultados del software, como se observa tenemos un error entre el 26% y el 14% y un promedio de 16,48% es considerado un error alto. Esto se debe a los parámetros que influyen en el análisis CFD como son: parámetros geométricos, la presión, la temperatura de funcionamiento, la fricción, en este análisis también se consideró la ausencia de cualquier tipo de sedimento de obstrucción. Para mejorar el error se podría realizar el análisis de dos fases en el programa CFD donde se pueda analizar la presencia de sedimentos de obstrucción para que el análisis pueda asemejarse más a la realidad.

En la tabla 3.70 se detallan los valores del exponente x , la constante C y el error generado entre la simulación y la medición.

Tabla 3. 70. Valores calculados

Régimen	Exponente X (Simulación)	Exponente X (medición)	Tipo de emisor	Error Simula.	Constante C simulación	Constante C medición	Error Simula.
Flujo totalmente turbulento	0,581	0,4923	Presión No compensada	15,27 %	2,9	3,61	19,52%

(Fuente: Autor)

Ecuaciones

A continuación con el uso de la ecuación 2.2.5 descrita en la página 19 se plantea las ecuaciones ideales para el funcionamiento del emisor Rainbow Italy.

$$Q = CH^x$$

$$Q = 2,9102H^{0,5811} \quad \text{Simulación} \quad [\text{Ec. 3.5.1}]$$

$$Q = 3,6157H^{0,4923} \quad \text{Medición} \quad [\text{Ec. 3.5.2}]$$

3.5.2 Pruebas de funcionamiento del emisor C diseño seleccionado.

Se desarrolló el siguiente procedimiento para realizar las pruebas de funcionamiento se realizó la medición 3 veces con la misma presión con el emisor C seleccionado ya que presenta las mejores condiciones de funcionamiento.

- El primer paso que se realizó fue calibrar la presión de entrada al sistema de riego a una presión de 0.5 bar 1 bar 1.5 bar 2 bar 2.5 bar 3 bar.



Figura 3. 143. Regulación de presión 3 bar constante durante 5 minutos (Fuente: Autor)

- Luego se inició la medición controlando el tiempo por medio de un cronómetro.

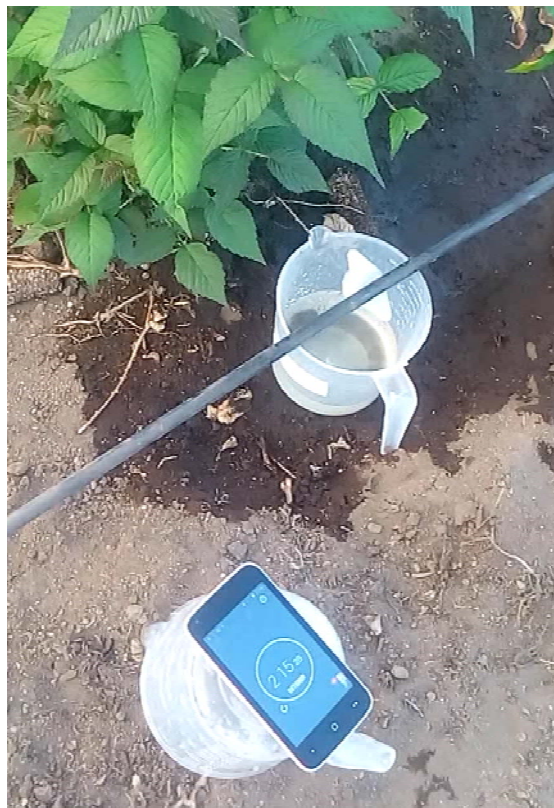


Figura 3. 144. Control del tiempo de prueba (Fuente: Autor)

- Luego se procede a medir el volumen de agua existente en los recipientes para determinar su caudal.



Figura 3. 145. Verificación del volumen obtenido en la prueba (Fuente: Autor)

En la tabla 3.71 se muestran los datos obtenidos en la medición de caudales a diferentes presiones y los datos obtenidos mediante CFD.

Tabla 3. 71. Comparación de caudales

	Medición	Software	
Presión bar	Caudal l/h	Caudal l/h	Error (Software)
0,5	2,36	3,35	29,52 %
1	3,76	5,03	25,25 %
1,5	5,76	6,34	9,13 %
2	7	7,45	6,05 %
2,5	8,4	8,43	0,33 %
3	10,84	9,28	16,80 %
		promedio	14,51 %

(Fuente: Autor)

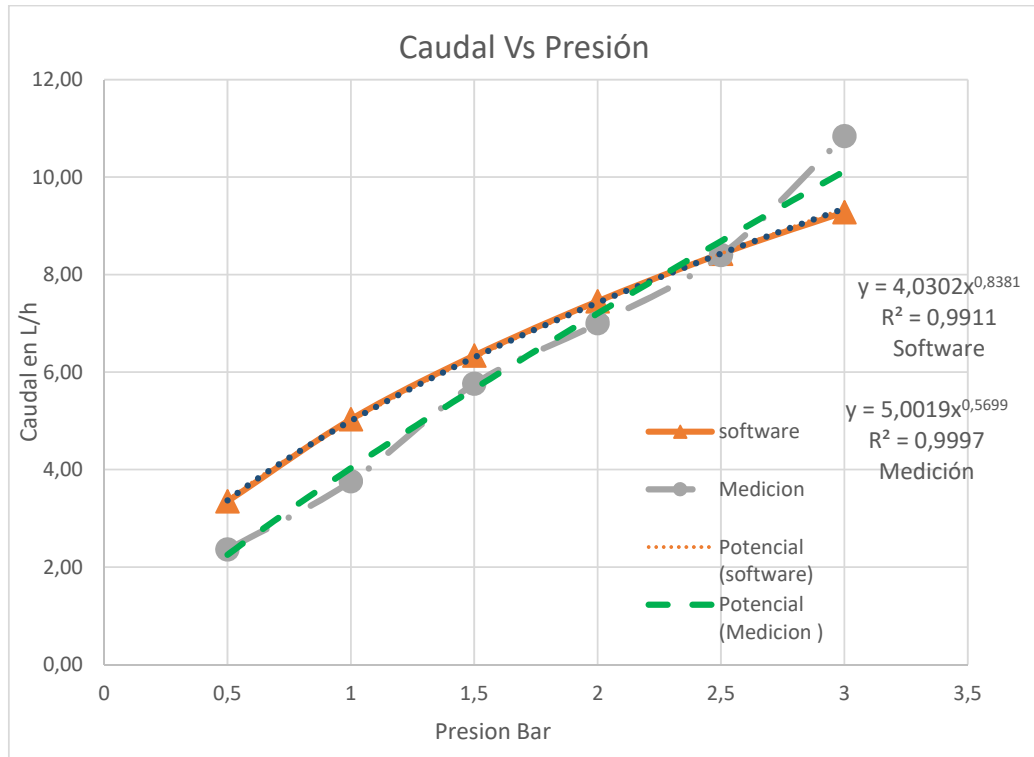


Figura 3. 146. Caudal Vs presión Software y medición. (Fuente: Autor)

En la tabla 3.72 se detallan los valores del exponente x , la constante C y el error generado entre la simulación y la medición.

Tabla 3. 72. Valores calculados

Régimen	Exponente X (Simulación)	Exponente X (medición)	Tipo de emisor	Error Simula.	Constante C simulación	Constante C medición	Error Simula.
Flujo Mayormente turbulento	0,5699	0,8381	Presión No compensada	32 %	5,0019	4,0302	24,12%

(Fuente: Autor)

Ecuaciones

A continuación con el uso de la ecuación 2.2.5 descrita en la página 19 se plantea las ecuaciones ideales para el funcionamiento del emisor C que presenta las mejores condiciones de funcionamiento.

$$Q = CH^x$$

$$Q = 5,0019H^{0,5699} \text{ Simulación} \quad [\text{Ec. 3.5.3}]$$

$$Q = 3,6157H^{0,8381} \text{ Medición} \quad [\text{Ec. 3.5.4}]$$

En la tabla 3.71 tenemos el cálculo del error generado entre el caudal medido y los resultados del software, como se observa tenemos un error entre el 29,52% y 0,33% y un promedio de 14,51% considerado alto, esto se debe a los parámetros que influyen en el análisis CFD como son: parámetros geométricos, la presión, la temperatura de funcionamiento, la fricción, para este caso los parámetros de fabricación influyen considerablemente en los resultados debido a que los procesos utilizados descritos en la página 82 en este análisis también se consideró la ausencia de cualquier tipo de sedimento de obstrucción. Para mejorar el error se podría realizar el análisis de dos fases en el programa CFD donde se pueda analizar la presencia de sedimentos de obstrucción y mejorar el proceso de fabricación para que el análisis pueda asemejarse más a la realidad. A. Abdulkader [7] en su investigación muestran una diferencia de entre el 23-25 % entre las técnicas del cfd y los datos de prueba del experimento. Esta diferencia se considera que es debido a varias razones, incluidas las hipótesis con respecto a algunos parámetros de flujo en el análisis cfd y los defectos de fabricación de prototipos.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Los emisores que se pueden encontrar en el mercado local son: los emisores de goteo auto compensados y los emisores de goteo no compensados. Los emisores de goteo auto compensados muestran en el estudio una variación promedio en la descarga del caudal de 3,37% al variar el rango de presiones, mientras que los emisores de goteo no compensados presentan una trayectoria de flujo turbulento como su característica principal y una variación de 19,71% en la descarga de caudal al variar el rango de presiones.
- Los principales parámetros para el diseño de un emisor de goteo son la cantidad de agua requerida por una planta de mora, los aspectos hidráulicos, restricciones geométricas, proceso de fabricación y la elección de los materiales, entre los más importantes tenemos la presión, la geometría, la fricción, la temperatura y la impresión 3D.
- Para el mallado se utilizó elementos sólidos, la cual está formada por tetraedros, hexaedros y prismas de base triangular. Esta malla tiene 386691 elementos y 147935 nodos, un número elevado de elementos y nodos se encuentra con frecuencia en este tipo de análisis.
- La calidad de la malla se evalúa mediante varios parámetros: relación de aspecto menor de 50, oblicuidad menor a 0,98 y la calidad ortogonal mayor a 0,15.
- El modelo de turbulencia $k - \epsilon$ realizable presenta un buen funcionamiento frente a los otros modelos. Ya que presenta una formulación más compleja que satisface ciertas limitaciones matemáticas que presenta el modelo estándar y RNG. También proporciona un mejor rendimiento en flujos que implican grandes cambios de presiones.
- El diseño del emisor propuesto tiene un estrechamiento máximo de 1mm, mientras que el emisor RainBow Italy adquirido tiene un estrechamiento máximo de 0,30mm por tanto el RainBow Italy es más propenso a ser obstruido ya que las partículas pequeñas de sedimentos con el transcurso del tiempo se

van acumulando en los estrechamientos hasta provocar el taponamiento del emisor de goteo, de igual manera ocurrirá con las partículas de mayor diámetro.

- El emisor RainBow Italy tiene una velocidad máxima en laberinto de 5,165 m/s siendo mayor que la del emisor propuesto que es de 4,86 m/s, pero tiene regiones de baja velocidad en todas las esquinas del laberinto, y el emisor propuesto tienen velocidad uniforme a lo largo del laberinto debido a que su geometría tiene arcos suaves que permitirá que las partículas de los sedimentos no se acumulen en las regiones de baja velocidad o en las esquinas del laberinto que con el paso del tiempo obstruyen el emisor de goteo.
- Al comparar la simulación CFD de la descarga de caudal con la medición se tiene un error promedio de 14,51%, se puede tomar como aceptada debido a que el proceso de fabricación del emisor presenta poca presión y acabados superficiales poco aceptables esto se debe a que la Impresión 3D a un es una tecnología en desarrollo.
- Los defectos producidos en la fabricación fueron ocasionados por el método de impresión 3D que influyen directamente en los resultados, al comparar los resultados CFD del exponente x y de la constante C tenemos un error de 32% y 24,12 % respectivamente este error es alto debido a que también influyen las hipótesis que se tomaron en el análisis CFD.

4.2 Recomendaciones

- La instalación de los emisores de goteo auto compensados se debe hacer en terrenos donde existen desniveles o pendientes y los emisores no compensados funcionan correctamente en terrenos nivelados o con pequeñas irregularidades
- Tomar las consideraciones necesarias para realizar el diseño como las presiones de trabajo, temperatura, proceso de fabricación y realizar el análisis sin la presencia de sedimentos de obstrucción.
- Para el mallado CFD se recomienda utilizar un “inflation” para tener mejores resultados en los análisis junto a la pared.
- La convergencia se puede considerar a aceptada cuando los residuales alcanzan valores menores a 10^{-3} .

- La geometría no debe tener detalles menores a 1mm debido a que la precisión de la impresora 3D es hasta de 1mm.
- La geometría del laberinto debe tener arcos suaves para mejorar la uniformidad de la velocidad y evitar las zonas de baja velocidad en los vértices, don puede dar inicio a la sedimentación hasta causar la obstrucción del emisor.

MATERIALES DE REFERENCIA

Bibliografía

- [1] J. Ponce. Política agropecuaria ecuatoriana. Quito, Ecuador.2016
- [2] D. Saltos. “El agua de riego y su incidencia en la producción agrícola en la parroquia Santa Rosa de la ciudad de Ambato provincia de Tungurahua” Ing. Tesis, Facultad de Ingeniería Civil Y Mecánica, U.T.A., Ambato, Ecuador, 2011.
- [3] C. Sánchez, M. Vinueza. “Optimización del recurso hídrico mediante el cambio del método de riego en la comuna de Mojas Alto del cantón Cayambe” Universidad técnica del Norte., UTN 2007.
- [4] V. Bralts y F. Vicent “Micro computer Aided Design of Drip /Trickle Irrigation Submain Units”. *Silver Spring*. Drip trickle irrigation congress. MD, USA.Pp 453 – 458. Noviembre, 1985.
- [5] H. Celik el at. “Determination of Head Losses in Drip Irrigation Laterals with Cylindrical In-Line Type Emitters through CFD Analysis”. *Bul. J Agric. Scie*. Vol. 21. Pp 703 – 710. Noviembre 3, 2014.
- [6] L. Yunkai. “CFD and digital particle tracking to assess flow characteristics in the labyrinth flow path of a drip irrigation emitter.” Springer-Verlag. *Irrig. Sci*. Vol. 26. Pp 427- 437. Springer - Verlag. Marzo 26, 2008
- [7] A. Abdulqader. “Anti-clogging Drip Irrigation Emitter Design Innovation”. *European International Journal of Science and Thecnology*. Msc student. Universite of Glasgow. October 2013.
- [8] L. Yongxin el at. “Computational Fluid Dynamics Analysis and Verification of Hydraulic Performance in Drip Irrigation Emitters”. Departamento de mecánica de fluidos e ingeniería de fluidos. Universidad de agricultura de china. Beijing- China.
- [9] A. Adin y M. Sacks. “Obstruction factors of drip emitters with the use of wastewater”. *J. Irrig Drain Div. ASCE*.Vol. 6. pp 813- 826. 1991

- [10] A. Almusaed. Biophilic and Bioclimatic Architecture. Analytical Therapy for the Next Generation of Passive Sustainable Architecture. Springer-Verlag London Limited 2011. pp 100-101
- [11] A. Hahn, J. Sass, C. Fröhlich, “Manuals and Tools for Promoting SPIS”, Reporte de análisis, GFA Consulting Group GmbH, Eschborn, Alemania, Mayo 2015, pp 17-25
- [12] J. Conde. “Evaluar el rendimiento del cultivo de papa con la aplicación de fertirrigación en dos sistemas de riego por goteo superficial y subsuperficial”. Mg. Tesis Universidad Nacional de Loja. Loja – Ecuador 2013 pp. 7-10
- [13] F. Nakayama, y D. Bucks. Water quality in drip-trickle irrigation. Irrigation science. 1991.
- [14] X. Duan. “characterization of wastewater subsurface drip emitters and design approaches concerning system application uniformity”. Mg tesis. Texas A&M University. Agosto 2006 pp 7 - 11
- [15] Mott R. “Mecánica de fluidos”. Sexta edición. Person education. México 2006.
- [16] L. Yongxin et al. “Computational Fluid Dynamics Analysis and Verification of Hydraulic Performance in Drip Irrigation Emitters”. Departamento de mecánica de fluidos e ingeniería de fluidos. Universidad de agricultura de china. Beijing- China.
- [17] CARDENAS J. “Notas sobre dinámica de fluidos computacional”. Universidad Politécnica de Madrid. 9 de septiembre de 2014.
- [18] J. Bartrons. Estudio hidrodinámico por CFD del casco de una lancha motora. Facultad de Náutica de Barcelona, UPC. Junio 2014
- [19] C. Galeano et al. “Herramientas de software con licencia pública general para el modelado de elementos finitos”. Universidad Nacional de Colombia. 24 de abril del 2007.
- [20] 3DCadPortal. *Copyright* 2016. Recuperado de: <http://www.3dcadportal.com/3d-software/cae/>.

- [21] J. Cedillo y J. Marín. “Estudio experimental y computacional mediante CFD ANSYS de flujo de aire a través de techos de edificaciones usando un túnel de viento”. Ing. Tesis Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. Ecuador. Marzo 2015.
- [22] J. Gutiérrez. “Diseños mecánicos empleando análisis con elementos finitos y volúmenes finitos” Indisa servicios de ingeniería. Medellín, 23 de abril 2012.
- [23] M. Goelke. Practical Aspects of Finite Element Simulation. Altair University, 2015
- [24] A. Cubillos. “Introducción al método de elementos finitos” Universidad de Ibagué, 2008.
- [25] Introducción al método de elementos finitos aplicado al análisis estructural. <http://slideplayer.es/slide/4202751>
- [26] A jain irrigation. Naandanjain Ltd
- [27] Toro. Ag Irrigation. Irritrol System Europe S.r.l.
- [28] Landscape and Turf Division Product Catalog. Netafim. 2007
- [29] Google Datos de mapas 2016. “Coordenadas geográficas del cantón Pelileo” Recuperado de <http://www.verfotosde.org/ecuador/coordenadas.php?Pelileo&id=41>
- [30] Clima-Date.org. Recuperado de <http://es.climate-data.org/location/178985/>
- [31] Hargreaves, G.H., Samani, Z.A. “Reference crop evapotranspiration from temperature”. *Applied Eng. In Agric.* Pg: 96-99. 1985
- [32] Samani, Z. “Estimating Solar Radiation and Evapotranspiration Using Minimum Climatological Data”. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol. 126, No.4 pp. 265-267. 2000.
- [33] Allen R. et al. “Evapotranspiración del cultivo”. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. *FAO riego y drenaje* Roma, 2006.
- [34] Silva A. et al. “Aspectos metodológicos en la determinación de la capacidad de retener agua de los suelos”. Facultad de Agronomía. Universidad de la República. Uruguay. 1998.

[35] S. Patil et al. "Hydraulic Study, Design & Analysis of Different Geometries of Drip Irrigation Emitter Labyrinth". J. Engineering and advanced Technology. (IJEAT). Vol. 2. Pp 445 - 462. Juneo 2013.

[36] Ansys Inc., ANSYS FLUENT 16.0, Theory guide.2016

[37] Impresión 3D. Recuperado de: <http://www.stratasys.com>

ANEXOS

ANEXO 1: Tabla de radiación solar extraterrestre en mm/día.

ANEXO 2: Tabla para el cálculo del coeficiente de desarrollo del cultivo K_c

ANEXO 3: Tabla para el cálculo del coeficiente K de contracción súbita.

ANEXO 4: Catálogo del emisor de goteo auto compensado Jain J-SC PC Azul.

ANEXO 5: Catálogo del emisor de goteo auto compensado ClickTif Plomo.

ANEXO 6: Catálogo del emisor de goteo auto compensado Netafim Verde.

ANEXO 7: Catálogo del emisor de goteo no compensado Rainbow Italy Negro.

ANEXO 8: Medición de caudales a diferentes presiones.

ANEXO 9: Medición de caudales a 2 bar de presión en un mismo lateral de goteo.

ANEXO 10: Resultados de la simulación CFD.

ANEXO 11: Fabricación del emisor de goteo.

ANEXO 13: Pruebas de funcionamiento.

ANEXO 13: Análisis de suelo.

ANEXO 14: Planos

ANEXO

ANEXO 1: Tabla de radiación solar extraterrestre en mm/día.

Tabla de Radiación solar extraterrestre en mm/día (Allen et al., 1998) (Original en MJ·m⁻²·día⁻¹ ; 1 mm/día = 2,45 MJ·m⁻²·día⁻¹)

Latitud	HEMISFERIO NORTE												HEMISFERIO SUR											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
70	0.0	1.1	4.2	9.4	14.4	17.3	16.1	11.4	6.1	2.0	0.0	0.0	16.9	11.7	6.4	2.0	0.1	0.0	0.0	0.9	4.4	9.6	15.2	18.5
68	0.0	1.5	4.8	9.8	14.4	17.1	15.9	11.7	6.6	2.4	0.3	0.0	16.7	12.0	6.9	2.4	0.3	0.0	0.0	1.3	4.9	10.0	15.3	18.2
66	0.2	2.0	5.3	10.1	14.5	16.9	15.8	12.0	7.1	2.9	0.6	0.0	16.7	12.2	7.4	2.9	0.6	0.0	0.2	1.7	5.3	10.4	15.3	18.0
64	0.6	2.4	5.8	10.5	14.7	16.8	15.8	12.2	7.5	3.5	1.0	0.2	16.7	12.6	7.9	3.4	1.0	0.2	0.5	2.2	5.9	10.7	15.5	17.9
62	0.9	2.9	6.3	10.9	14.8	16.8	15.9	12.5	8.0	4.0	1.4	0.5	16.8	12.9	8.3	3.9	1.4	0.5	0.8	2.6	6.3	11.1	15.6	17.9
60	1.3	3.4	6.8	11.2	14.9	16.8	16.0	12.8	8.4	4.4	1.8	0.9	16.9	13.2	8.8	4.4	1.8	0.8	1.2	3.1	6.8	11.5	15.8	17.9
58	1.8	3.9	7.2	11.6	15.1	16.9	16.1	13.1	8.9	4.9	2.2	1.3	17.0	13.5	9.2	4.9	2.2	1.2	1.6	3.6	7.3	11.8	16.0	18.0
56	2.2	4.4	7.7	11.9	15.3	16.9	16.2	13.3	9.3	5.4	2.7	1.7	17.1	13.8	9.6	5.4	2.7	1.6	2.0	4.0	7.8	12.2	16.1	18.0
54	2.7	4.9	8.2	12.2	15.4	16.9	16.2	13.6	9.7	5.9	3.2	2.1	17.2	14.0	10.0	5.9	3.1	2.0	2.4	4.5	8.2	12.5	16.3	18.1
52	3.1	5.4	8.6	12.6	15.6	17.0	16.4	13.8	10.1	6.4	3.7	2.6	17.3	14.3	10.4	6.4	3.6	2.4	2.9	5.0	8.7	12.8	16.4	18.1
50	3.6	5.9	9.1	12.9	15.7	17.0	16.4	14.0	10.5	6.9	4.2	3.1	17.4	14.5	10.9	6.8	4.1	2.9	3.3	5.5	9.1	13.1	16.6	18.2
48	4.1	6.4	9.5	13.1	13.8	17.1	16.5	14.2	10.9	7.4	4.7	3.6	17.5	14.8	11.2	7.3	4.5	3.3	3.8	6.0	9.5	13.4	16.7	18.2
46	46.1	6.9	9.9	13.4	16.0	17.1	16.6	14.4	11.2	7.8	5.1	4.0	17.6	15.0	11.6	7.8	5.0	3.8	4.2	6.4	9.9	13.7	16.8	18.2
44	5.1	7.3	10.3	13.7	16.0	17.1	16.6	14.7	11.6	8.3	5.7	4.5	17.6	15.2	12.0	8.2	5.5	4.3	4.7	6.9	10.3	13.9	16.9	18.2
42	5.6	7.8	10.7	13.9	16.1	17.1	16.7	14.8	11.9	8.7	6.2	5.1	17.7	15.4	12.3	8.7	6.0	4.7	5.2	7.3	10.7	14.2	17.0	18.2
40	6.1	8.3	11.1	14.2	16.2	17.1	16.7	15.0	12.2	9.2	6.7	5.6	17.7	15.6	12.6	9.1	6.4	5.2	5.7	7.8	11.1	14.4	17.1	18.2
38	6.6	8.8	11.5	14.4	16.3	17.1	16.7	15.1	12.5	9.6	7.1	6.0	17.7	15.7	12.9	9.5	6.9	5.7	6.2	8.2	11.4	14.6	17.1	18.2
36	7.1	9.2	11.8	14.6	16.3	17.0	16.7	15.3	12.9	10.0	7.6	6.6	17.7	15.9	13.2	9.9	7.4	6.2	6.6	8.7	11.8	14.8	17.1	18.1
34	7.6	9.7	12.2	14.7	16.3	17.0	16.7	15.3	13.1	10.4	8.1	7.1	17.7	16.0	13.5	10.3	7.8	6.6	7.1	9.1	12.1	15.0	17.1	18.1
32	8.1	10.1	12.5	14.5	16.3	16.9	16.6	15.5	13.4	10.9	8.6	7.6	17.7	16.1	13.8	10.7	8.3	7.1	7.6	9.5	12.4	15.1	17.1	18.0
30	8.6	10.5	12.8	15.0	16.3	16.8	16.6	15.5	13.6	11.3	9.1	8.1	17.6	16.2	14.0	11.1	8.7	7.6	8.0	9.9	12.7	15.3	17.1	17.9
28	9.1	10.9	13.1	15.1	16.3	16.7	16.5	15.6	13.8	11.6	9.5	8.6	17.6	16.2	14.2	11.5	9.2	8.0	8.4	10.3	13.0	15.4	17.1	17.8
26	9.6	11.3	13.4	15.3	16.3	16.6	16.4	15.6	14.1	12.0	10.0	9.1	17.5	16.3	14.4	11.8	9.6	8.5	8.9	10.7	13.3	15.5	17.1	17.7
24	10.0	11.8	13.7	15.3	16.2	16.4	16.3	15.6	14.2	12.3	10.4	9.5	17.3	16.3	14.6	12.2	10.0	8.9	9.3	11.1	13.5	15.6	17.0	17.6
22	10.5	12.1	13.9	15.4	16.1	16.3	16.2	15.7	14.4	12.7	10.9	10.0	17.2	16.4	14.8	12.5	10.4	9.4	9.8	11.5	13.8	15.7	16.9	17.4
20	10.9	12.5	14.2	15.5	16.0	16.1	16.0	15.6	14.6	13.0	11.3	10.4	17.1	16.3	14.9	12.8	10.9	9.8	10.2	11.8	14.0	15.8	16.8	17.2
18	11.4	12.9	14.4	15.5	15.9	16.0	15.9	15.6	14.7	13.3	11.7	10.9	16.9	16.3	15.1	13.1	11.2	10.2	10.6	12.2	14.2	15.8	16.7	17.0
16	11.8	13.2	14.6	15.6	15.8	15.8	15.7	15.6	14.9	13.6	12.1	11.4	16.8	16.3	15.2	13.4	11.6	10.7	11.0	12.5	14.4	15.8	16.6	16.8
14	12.2	13.5	14.7	15.6	15.7	15.6	15.6	15.5	15.0	13.8	12.5	11.8	16.6	16.2	15.3	13.6	12.0	11.1	11.4	12.8	14.5	15.8	16.4	16.6
12	12.6	13.8	14.9	15.5	15.5	15.3	15.3	15.4	15.1	14.1	12.9	12.2	16.4	16.2	15.4	13.9	12.3	11.5	11.8	13.1	14.7	15.8	16.2	16.3
10	13.0	14.1	15.1	15.5	15.3	15.1	15.1	15.3	15.1	14.3	13.2	12.7	16.1	16.0	15.4	14.1	12.7	11.9	12.2	13.4	14.8	15.7	16.0	16.1
8	13.4	14.4	15.2	15.4	15.1	14.8	14.9	15.2	15.2	14.5	13.6	13.1	15.9	15.9	15.5	14.3	13.0	12.2	12.5	13.6	14.9	15.7	15.8	15.8
6	13.8	14.6	15.3	15.3	14.9	14.6	14.7	15.1	15.2	14.7	13.9	13.4	15.6	15.8	15.5	14.5	13.3	12.6	12.9	13.9	15.0	15.6	15.6	15.5
4	14.1	14.9	15.3	15.3	14.7	14.3	14.4	14.9	15.2	14.9	14.2	13.8	15.3	15.6	15.5	14.7	13.6	13.0	13.2	14.1	15.1	15.5	15.3	15.2
2	14.4	15.1	15.4	15.1	14.4	14.0	14.1	14.7	15.2	15.1	14.5	14.2	15.1	15.5	15.5	14.9	13.9	13.3	13.5	14.4	15.1	15.4	15.1	14.9
0	14.8	15.3	15.5	15.0	14.2	13.6	13.8	14.6	15.2	15.3	14.8	14.5	14.8	15.3	15.5	15.0	14.2	13.6	13.8	14.6	15.2	15.3	14.8	14.5

CUADRO 12 (continuación)

Cultivo	$K_{c,ini}^1$	$K_{c,med}$	$K_{c,fin}$	Altura Máx. Cultivo (h) (m)	
j. Forrajes					
Alfalfa (heno)	– efecto promedio de los cortes	0,40	0,95 ¹³	0,90	0,7
	– periodos individuales de corte	0,40 ¹⁴	1,20 ¹⁴	1,15 ¹⁴	0,7
	– para semilla	0,40	0,50	0,50	0,7
Bermuda (heno)	– efecto promedio de los cortes	0,55	1,00 ¹³	0,85	0,35
	– cultivo para semilla (primavera)	0,35	0,90	0,65	0,4
Trébol heno, Bersím	– efecto promedio de los cortes	0,40	0,90 ¹³	0,85	0,6
	– periodos individuales de corte	0,40 ¹⁴	1,15 ¹⁴	1,10 ¹⁴	0,6
Rye Grass (heno)	– efecto promedio de los cortes	0,95	1,05	1,00	0,3
Pasto del Sudán (anual)	– efecto promedio de los cortes	0,50	0,90 ¹⁴	0,85	1,2
	– período individual de corte	0,50 ¹⁴	1,15 ¹⁴	1,10 ¹⁴	1,2
Pastos de Pastoreo	– pastos de rotación	0,40	0,85-1,05	0,85	0,15-0,30
	– pastoreo extensivo	0,30	0,75	0,75	0,10
Pastos (césped, turfgrass)	– época fría ¹⁵	0,90	0,95	0,95	0,10
	– época caliente ¹⁵	0,80	0,85	0,85	0,10
k. Caña de azúcar	0,40	1,25	0,75	3	
l. Frutas Tropicales y Árboles					
Banana	– 1 ^{er} año	0,50	1,10	1,00	3
	– 2 ^{do} año	1,00	1,20	1,10	4
Cacao		1,00	1,05	1,05	3
Café	– suelo sin cobertura	0,90	0,95	0,95	2-3
	– con malezas	1,05	1,10	1,10	2-3
Palma Datilera		0,90	0,95	0,95	8
Palmas		0,95	1,00	1,00	8
Piña ¹⁶	– suelo sin cobertura	0,50	0,30	0,30	0,6-1,2
	– con cobertura de gramíneas	0,50	0,50	0,50	0,6-1,2
Árbol del Caucho		0,95	1,00	1,00	10
Té	– no sombreado	0,95	1,00	1,00	1,5
	– sombreado ¹⁷	1,10	1,15	1,15	2
m. Uvas y Moras					
Moras (arbusto)		0,30	1,05	0,50	1,5
Uvas	– Mesa o secas (pasas)	0,30	0,85	0,45	2
	– Vino	0,30	0,70	0,45	1,5-2
Lúpulo		0,3	1,05	0,85	5

¹³ Los valores de $K_{c,med}$ para cultivos destinados a heno son un promedio general que incluyen valores promedios de K_c para antes y después de los cortes. Este se aplica para el lapso que sigue al periodo de desarrollo inicial hasta el inicio de la etapa final de la temporada de crecimiento.

¹⁴ Estos valores del coeficiente K_c para cultivos de heno se aplican inmediatamente después del corte; en cobertura completa; e inmediatamente antes del corte, respectivamente. La temporada de crecimiento se define como una serie de periodos individuales de corte (Figura 35).

¹⁵ Variedades de pastos de temporada fría incluyen sitios cultivados densamente con bluegrass, ryegrass y fescue. Variedades de temporada cálida incluyen pastos tipo bermuda y St. Agoustine. El valor de 0,95 para pastos de época fría representa un 0,06 a 0,08 m de altura de corte, bajo condiciones normales de césped. Cuando se practica un manejo cuidadoso del agua y no se requiere de un crecimiento rápido, se puede reducir los valores de K_c para césped a 0,10.

¹⁶ La planta de piña posee una muy baja transpiración debido a que la misma cierra sus estomas durante el día y los abre durante la noche. Por lo tanto la mayor parte de la ET_c en la piña esta constituida por la evaporación que ocurre en el suelo. El valor de $K_{c,med} < K_{c,ini}$ debido a que $K_{c,med}$ ocurre en condiciones de completa cobertura del suelo, por lo que la evaporación en el suelo será menor. Los valores indicados asumen que un 50% de la superficie del suelo se encuentra cubierta por una cobertura de plástico negro y que el cultivo es regado a través de riego por aspersión. En el caso de riego por goteo por debajo de la cubierta plástica, los valores de K_c pueden ser reducidos a 0,10.

¹⁷ Incluye el requerimiento de agua de los árboles bajo sombra.

ANEXO 3: Tabla para el cálculo del coeficiente K de 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: King, H. W. y E. F. Brater, 1963. *Handbook of Hydraulics*, 5a. ed., Nueva York: McGraw-Hill, tabla 6-9.

J-SC PC-Plus® Emitter

Additional Features

- **No Environmental and Chemical Effects** : UV stabilized does not have any environmental effects. Resistant to chemicals used in agriculture.
- **Quality Comes First** : Each batch passes through stringent quality tests to ensure efficient and trouble free performance for long period. Conforming to Indian Standard IS 13487 and International Standard ISO 9260.

Applications

- Recommended for open field application like orchards, fruit crops, vegetables, etc.
- Suitable for nurseries, pot irrigation & greenhouse irrigation.
- Recommended to use where section size is large and longer lateral length of run is required.
- Recommended for undulating terrain & steep slopes.
- Recommended to use in problematic water condition where cleaning of emitter is required.

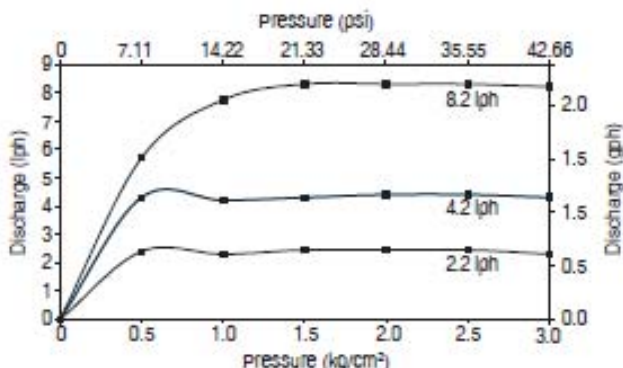
Specifications

Discharge		Color of cap & insert	Emitter exponent (x)	Flow coefficient (k)	Coeff. of mfr. variation, CVm
lph	gph				
2.2	0.58	Yellow	0.04	2.2	4
4.2	1.11	Black	0.03	4.2	3
8.2	2.16	Blue	0.08	8.2	3.5

Flow equation $q = kH^x$, q = Discharge, lph, H = Pressure head, kg/cm², k = Flow coefficient, x = Emitter exponent.

- Recommended punch size - 2.9 mm

Performance Graph



Note: Tested under standard test conditions.

Operating Specifications

- Maintain the operating pressure within the pressure regulating range.
- Always use 'Turbo Key Spanner' to open and close the dripper. Close the dripper properly.
- Filtration recommendation 130 micron or less. Actual quality of filtration can be decided by quality of source water.
- Please refer to our "Maintenance Manual" for more details.

Ordering Specifications

JSGPC	XX
	Discharge (lph)
	02
	04
	08

Example: JSGPC02 - This code represents J-SG-PC-Plus® Emitter having 2.2 lph discharge.

Online Emitters



ClickTIF™

Goteros botón

Gotero de botón PC y CNL (con compensación de presión)

Aplicaciones

- Para huertos y viñedos, invernaderos y viveros y para la creación de zonas verdes
- Para riego por pulsos y riego en cultivos hidropónicos
- Evita el exceso de drenaje en lugares bajos (modelo CNL)
- La instalación subterránea protege al gotero contra animales y en especial, contra pájaros carpinteros.
- Para riego de plantas en maceta: dos o cuatro salidas

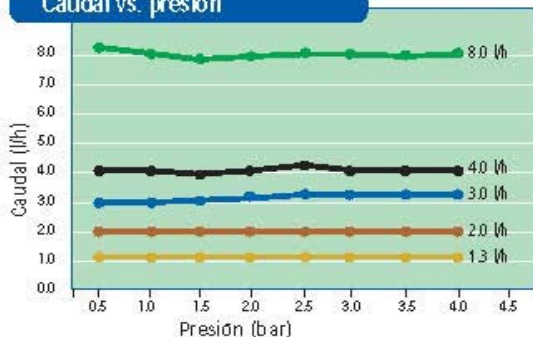
Estructura y características

- Cuatro elementos de diseño de goteros reducen las obturaciones a un mínimo:
 - Entrada de agua protegida en forma de cruz
 - Mecanismo de lavado de diafragma de regulación
 - Potente flujo turbulento en un laberinto, con limpieza y lavado continuos
- Amplios pasos de agua
- Se ofrece en dos modelos: PC y PC CNL (antidrenaje)
- Codificación por color para identificar descarga y modelo
- Pezón estándar de 5 mm, para proteger contra pájaros carpinteros y para cultivos en macetas
- Plástico de gran calidad resistente a productos químicos, para más precisión y durabilidad

Información técnica

- Descarga nominal: 1.3, 2.0, 3.0, 4.0, 8.0 y 12.0 l/h
- Margen de regulación de presión: 5 a 40 m
- CV: menos de un 4%
- Antidrenaje
- Presión de apertura: 4,0 m
- Presión de cierre: 2,0 m
- 12,0 l/h, Nivel de presión recomendado:
 - Salida única: 0,5 a 4,0 bar
 - Cuatro salidas: presión mín. 2,0 bar
 - Seis salidas: 0,5 a 4,0 bar

Caudal vs. presión



Salida de torneado cónico

Salida dentada 3/5



Código de colores

PC + CNL: Carcasa marrón claro

PC: Carcasa negra

1.3 l/h: Cubierta gris

2.0 l/h: Cubierta marrón

3.0 l/h: Cubierta azul

4.0 l/h: Cubierta negra

8.0 l/h: Cubierta verde

12.0 l/h: Cubierta roja

Longitud máxima recomendada del lateral (m) sobre terreno llano*

Número	Diámetro del lateral	p m	Ø 16-ID-13.6						Ø 20-ID-17.4						Ø 25-ID-21.2					
			Espaciamiento de goteros (c.m)						Espaciamiento de goteros (c.m)						Espaciamiento de goteros (c.m)					
Gotero 1.3 Gris	15	30	40	50	75	100	125	150	30	40	50	75	100	125	150	50	75	100	125	150
		180	220	260	360	430	275	330	390	500	500									
		20	210	260	310	410	500	310	390	455	500	500								
Gotero 2.0 Marrón	15	30	40	50	75	100	125	150	30	40	50	75	100	125	150	50	75	100	125	150
		95	120	143	193	237	140	172	202	268	326									
		20	101	127	151	204	250	171	211	247	328	399								
Gotero 3.0 Azul	15	30	40	50	75	100	125	150	30	40	50	75	100	125	150	50	75	100	125	150
		77	96	114	154	188	126	157	184	244	296									
		20	88	110	132	176	217	146	182	213	280	342								
Gotero 4.0 Negro	15	30	40	50	75	100	125	150	30	40	50	75	100	125	150	50	75	100	125	150
		58	68	81	108	132	97	112	131	174	211									
		20	72	84	100	135	167	121	140	165	218	265								
Gotero 8.0 Verde	15	30	40	50	75	100	125	150	30	40	50	75	100	125	150	50	75	100	125	150
		37	44	52	71	86	63	72	86	113	138									
		20	45	52	63	85	104	106	121	76	88	103	137	166	161	181	127	168	204	236
Gotero 12.0 Rojo ^{AA}	20	30	40	50	75	100	125	150	30	40	50	75	100	125	150	50	75	100	125	150
		51	59	70	95	117	117	133	85	98	116	155	188	178	201	140	186	226	262	295
		30	55	64	77	104	128	127	145	93	108	127	169	205	206	232	152	201	245	283

* Presión mínima en final de línea: 0,5 bar

^{AA}Ver margen de presión recomendado

No se recomienda una longitud de lateral superior a 500 m

PCDj DRIPPERS

*Pressure Compensating Continuous Self-Flushing Drillers with Check Valve
(Shown below slightly larger than actual size)*

Applications

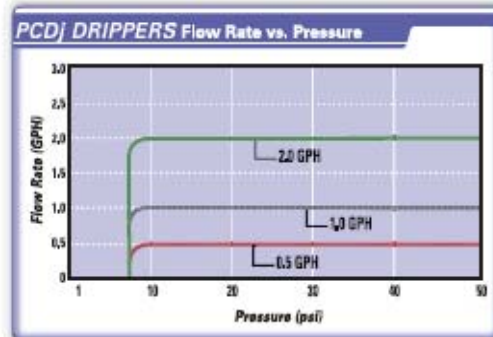
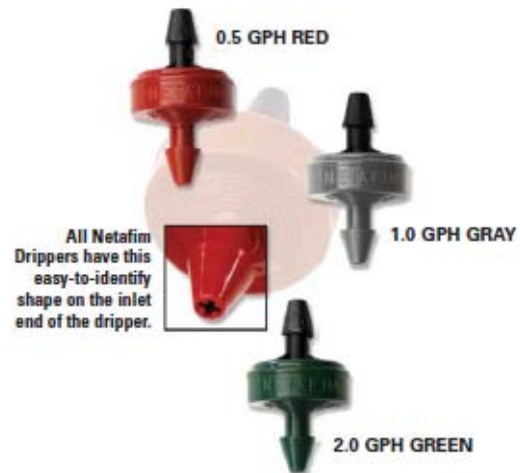
- Can be used with blank polyethylene tubing, Techline® CV, Techline®, Techlite®, other PC and non-PC dripperlines
- Can be used in piping networks with wide pressure variations
- Can be installed on-surface or subsurface
- Wide-spaced plantings
- Trees
- Hanging baskets
- Flower boxes
- Planters or pots

Features/Benefits

- Unique Turbonet design regulates flow and provides continuous self-cleaning action during operation
- Delivers the same flow from 7 to 50 psi
- Can be used with Techline CV dripperline without causing dripperline drainage
- 1.5 psi internal check valve helps prevent drainage and holds back up to a 3½' column of water
- Anti-siphon operation prevents contaminants from being drawn into dripper
- Dripper body is color-coded denoting flow
- Small profile

Specifications

- Flow rates: 0.5, 1.0 or 2.0 GPH
- Pressure compensation range: 7 to 50 psi
- Maximum pressure: 50 psi
- Barb inlet x .160" barb outlet
- Uses .160" x .220" micro-tubing (Model EDTUBE)
- Recommended filtration: 120 mesh



EDTUBE Performance (.160" x .220")

FLOW (GPH)	VELOCITY (FPS)	psi LOSS (per 100 feet)
0.50	0.13	0.04
1.00	0.27	0.16
2.00	0.53	0.58
3.00	0.80	1.24
4.00	1.06	2.11
5.00	1.33	3.19
6.00	1.59	4.46
7.00	1.86	5.94
8.00	2.13	7.61

PCDj DRIPPERS Ordering Information

Model Number	Description	Color	Bag Quantity
PCDj05-25	0.5 GPH Barb Inlet x .160" Barb Outlet	Red	25
PCDj05-100	0.5 GPH Barb Inlet x .160" Barb Outlet	Red	100
PCDj05-250	0.5 GPH Barb Inlet x .160" Barb Outlet	Red	250
PCDj05-1000	0.5 GPH Barb Inlet x .160" Barb Outlet	Red	1,000
PCDj10-25	1.0 GPH Barb Inlet x .160" Barb Outlet	Gray	25
PCDj10-100	1.0 GPH Barb Inlet x .160" Barb Outlet	Gray	100
PCDj10-250	1.0 GPH Barb Inlet x .160" Barb Outlet	Gray	250
PCDj10-1000	1.0 GPH Barb Inlet x .160" Barb Outlet	Gray	1,000
PCDj20-25	2.0 GPH Barb Inlet x .160" Barb Outlet	Green	25
PCDj20-100	2.0 GPH Barb Inlet x .160" Barb Outlet	Green	100
PCDj20-250	2.0 GPH Barb Inlet x .160" Barb Outlet	Green	250
PCDj20-1000	2.0 GPH Barb Inlet x .160" Barb Outlet	Green	1,000

J-Turbo Key Plus®

Goteros botón

Aplicaciones

Recomendado para huertos, plantas frutales, plantaciones, viveros y creación de zonas verdes

Estructura y características

- El gotero se puede abrir para facilitar la limpieza
- Fabricado con plástico virgen, para un rendimiento estable
- Ruta de flujo turbulento exclusiva con amplia sección transversal, que asegura la resistencia contra obturaciones
- La salida ampliada facilita el uso de tubos de extensión de polietileno o de tubos de vinilo
- Entrada angosta en forma de cruz que actúa como filtro
- El coeficiente de variación de fábrica (CV3%) asegura un alto nivel de uniformidad de emisión en el campo
- Tapa de colores que facilita la identificación del caudal

Información técnica

- CV \pm 3%
- Presión de trabajo: 0,5 a 2,5 bar
- Requisitos de filtración: 120 mesh, 130 micrones
- Diámetro de perforación requerido: 2,9 mm

Datos técnicos

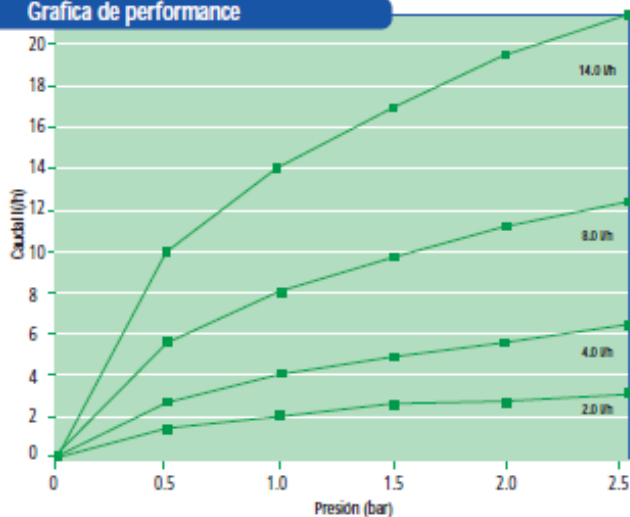
Caudal (l/h)	Color	Exponente (x)	Coefficiente (k)
2.0	Amarillo	0.48	2.0
4.0	Negro	0.48	4.0
8.0	Azul	0.48	8.0
14.0	Verde	0.48	14.0



Caudal vs. presión

Presión (bar)	Caudal (l/h)			
	2.0	4.0	8.0	14.0
0.5	1.4	2.9	5.7	10.0
1.0	2.0	4.0	8.0	14.0
1.5	2.4	4.9	9.7	17.0
2.0	2.8	5.6	11.2	19.5
2.5	3.1	6.2	12.4	21.7
3.0	3.4	6.8	13.6	23.7
3.5	3.6	7.3	14.6	25.5

Grafica de performance

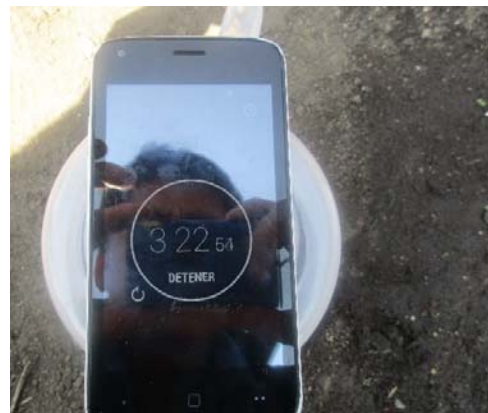


ANEXO 8: Medición de caudales a diferentes presiones.

Presion de trabajo 0,5 bar

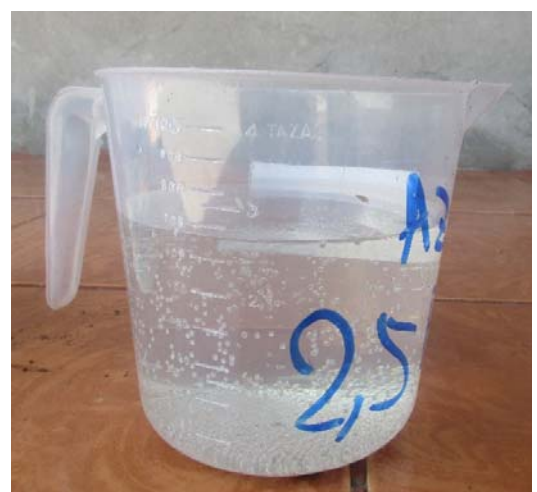


Presion de trabajo 1 Bar





Presion de trabajo 2,5 bar

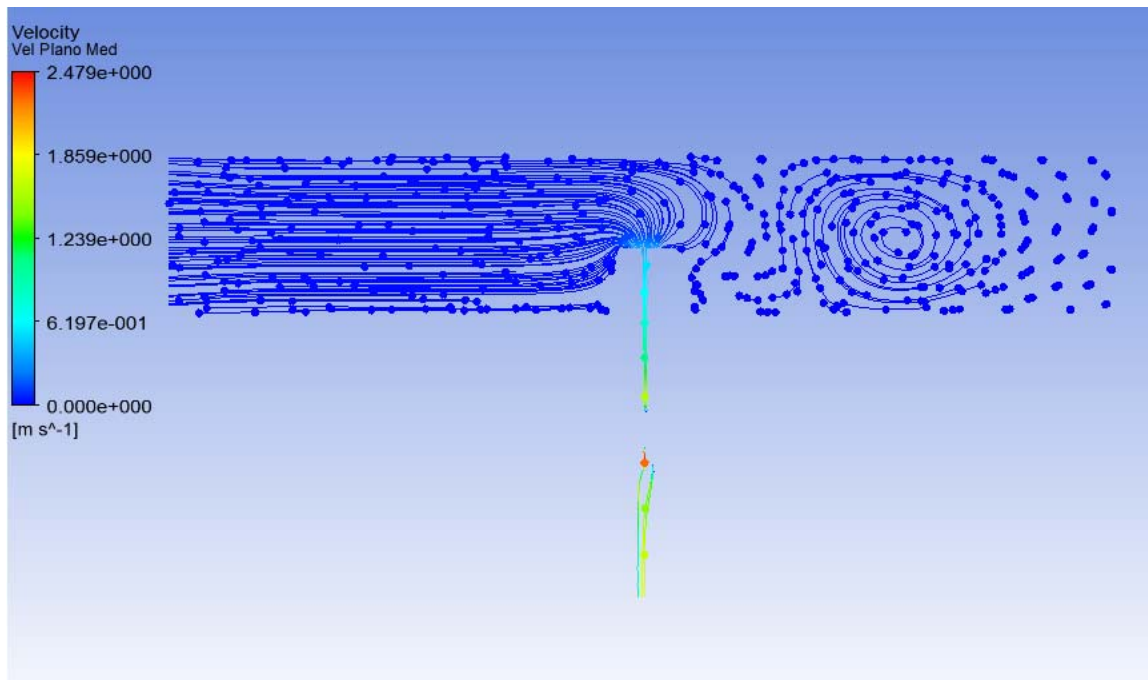
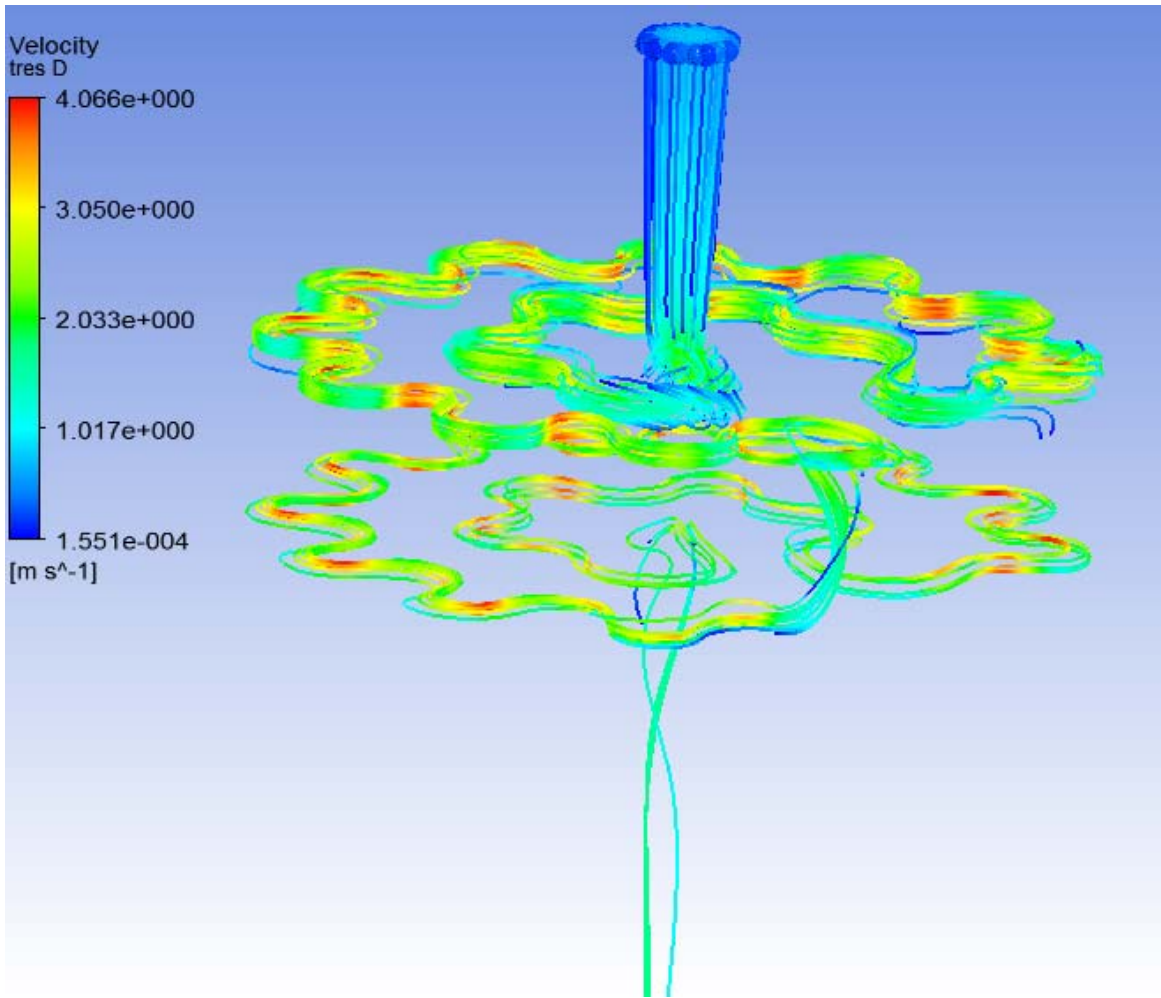


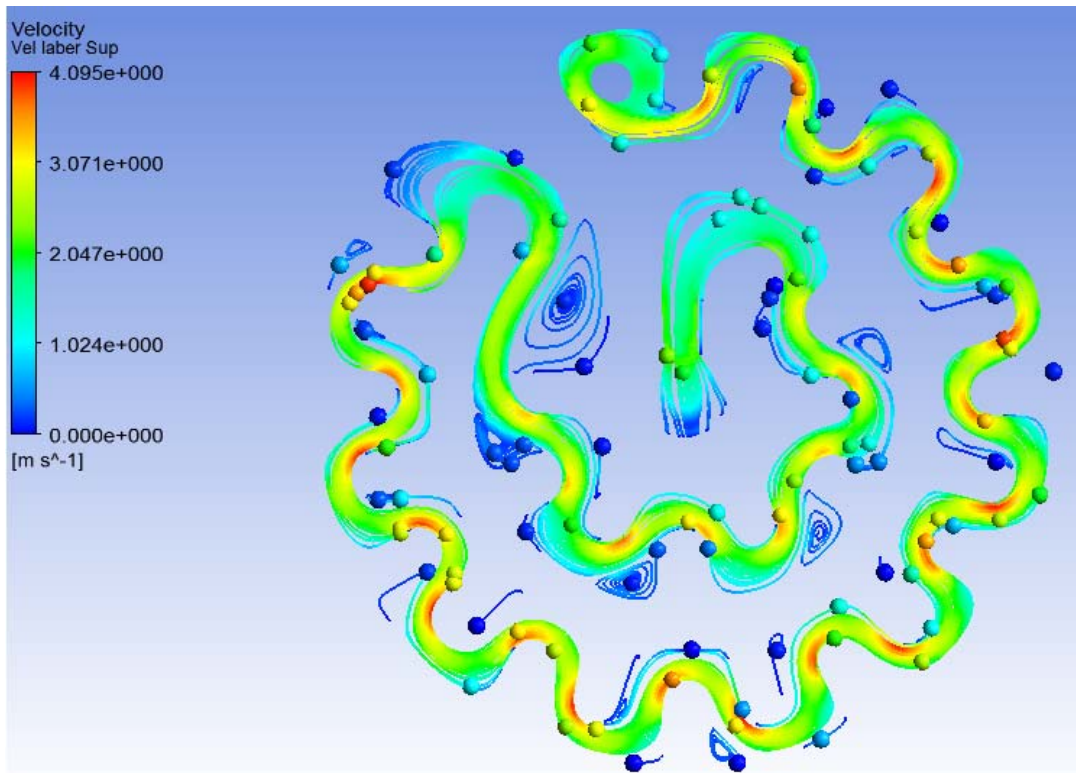
ANEXO 9: Medición de caudales a 2 bar de presión en un mismo lateral o línea de goteo.



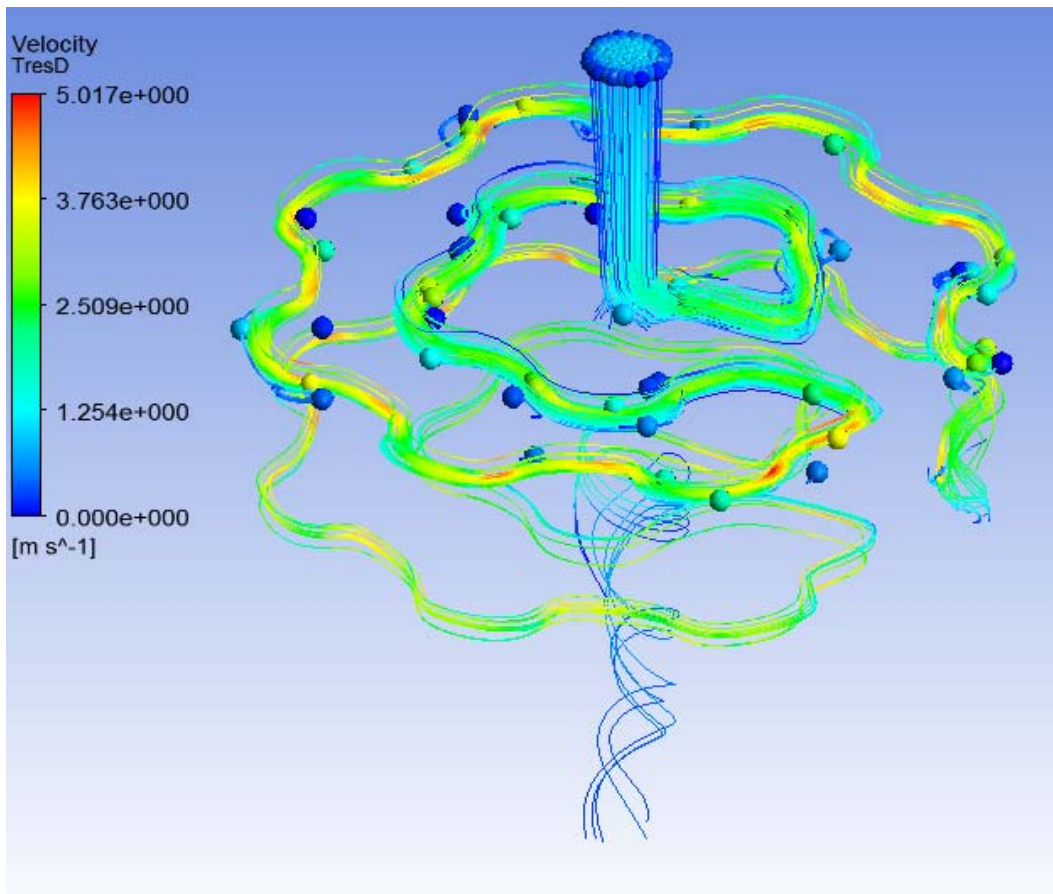
ANEXO 10: Resultados de la simulación CFD.

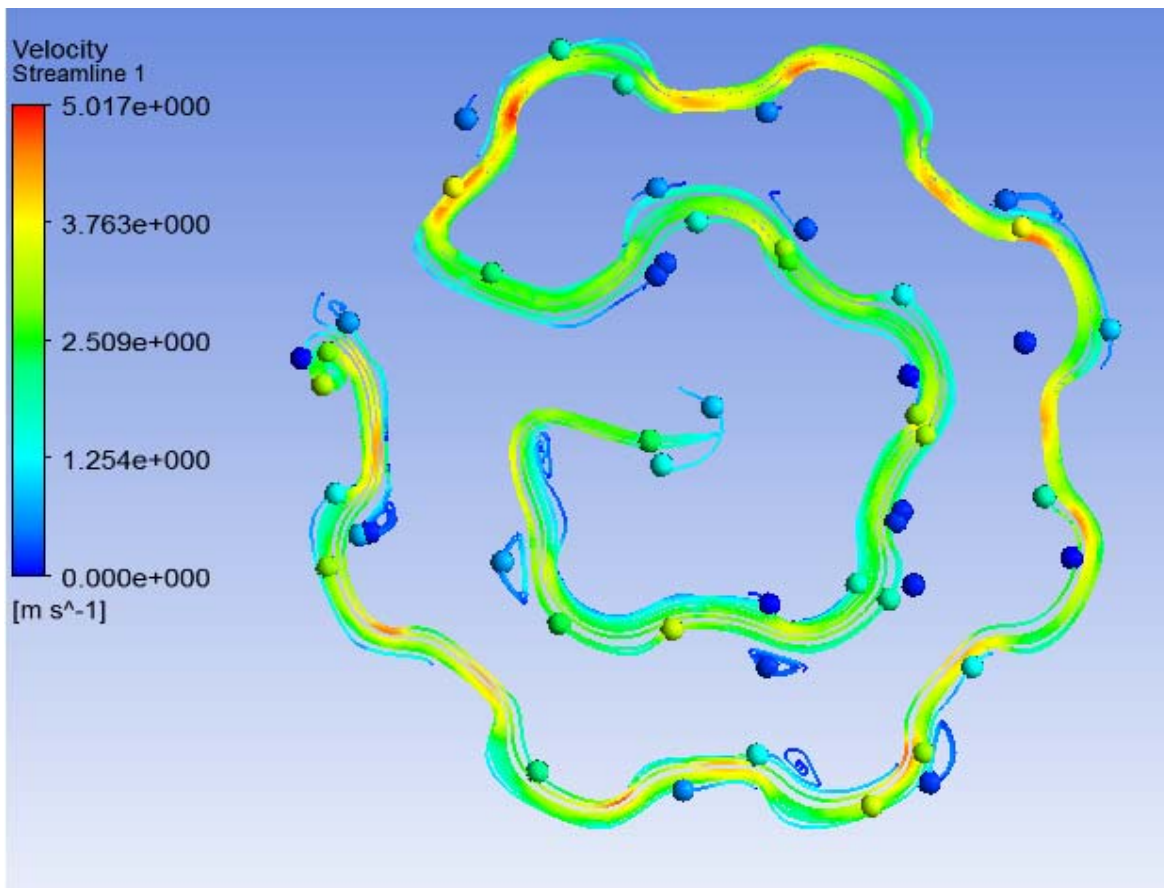
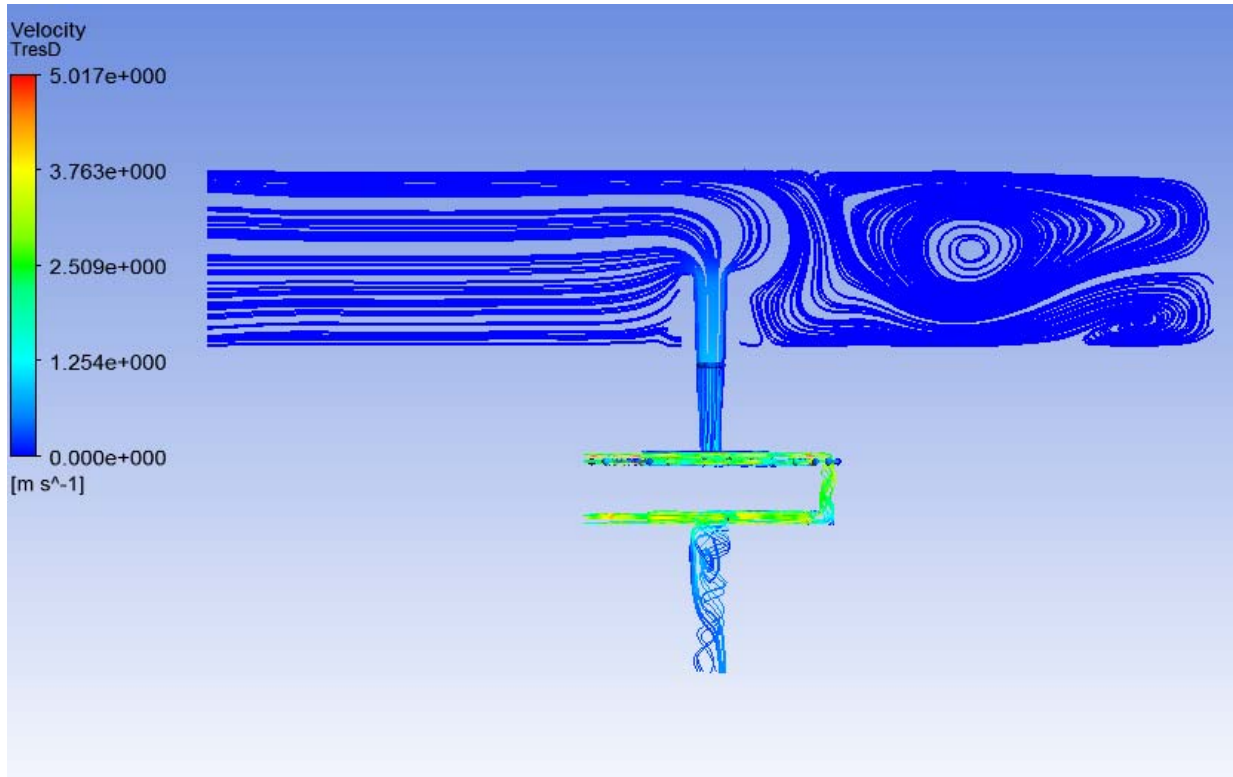
Emisor A





Emisor C



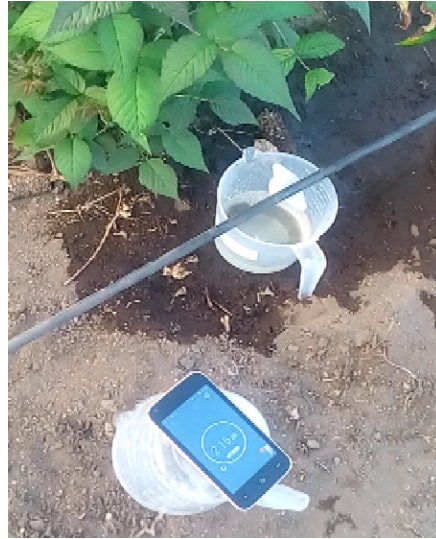


ANEXO 11: Fabricación del emisor de goteo.



ANEXO 12: Pruebas de funcionamiento.

Presion de trabajo 3 bar



Presion de trabajo 2,5 bar



Presion de trabajo 2 bar



Presion de trabajo 1,5 bar



ANEXO 13: Análisis de Suelo.

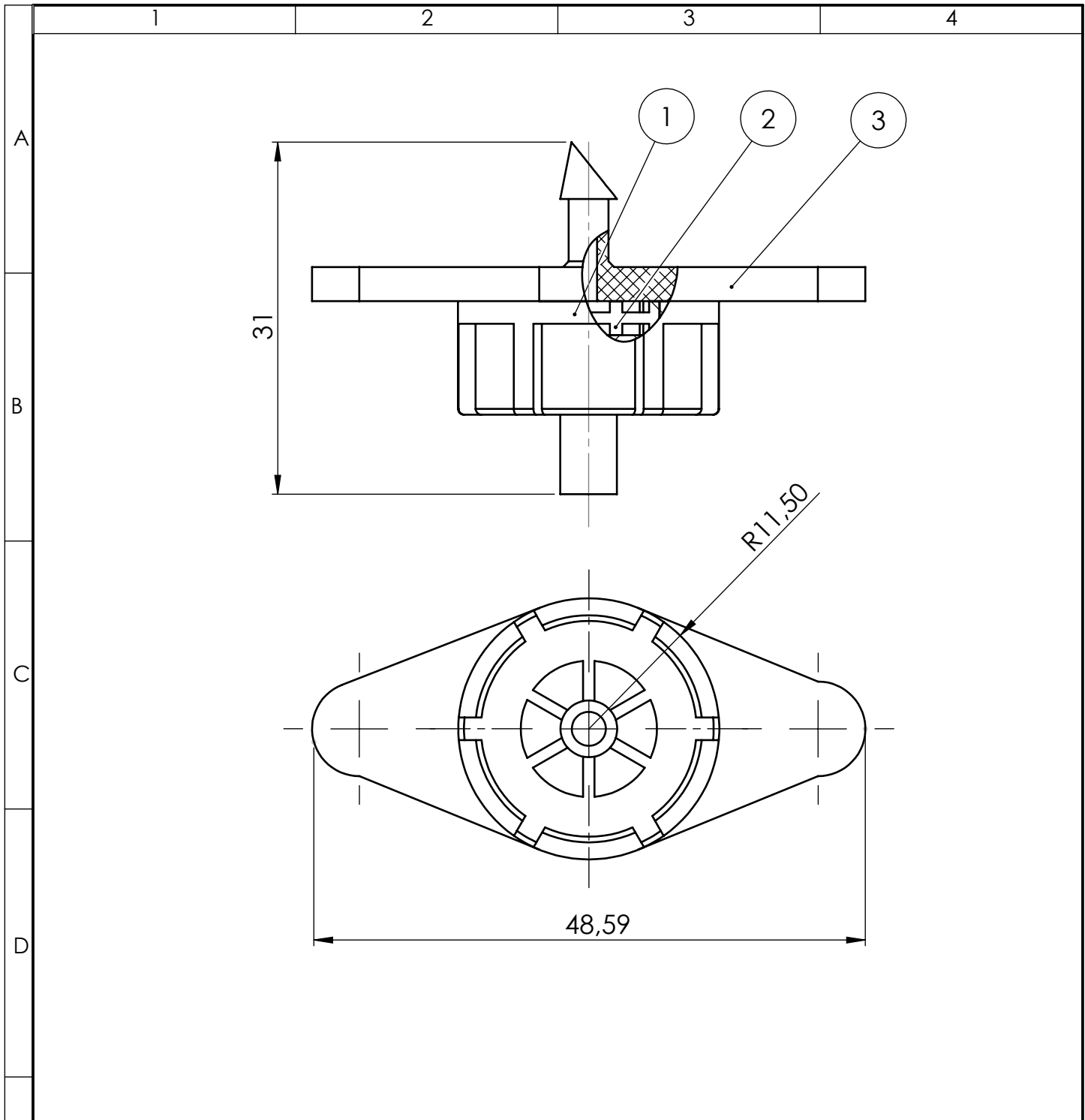
ANALISIS	Unidad	Valor	Nivel
suelo:agua 1:2,5		5,78	Me Ac
C.E. extracto suelo:agua 1:2,5	mmhos	30,09	NS
Textura	Clase	Franco Arenoso	
Arena	%	54	
Limo	%	40	
Arcilla	%	6	
M.O.	%	2,0	B
N - TOTAL	%	0,1	B
P	ppm	271,5	A
K	meq/100 g	1,3	A
Ca	meq/100 g	6,1	A
Mg	meq/100 g	6,1	A
Cu	ppm	6,0	A
Fe	ppm	165,0	A
Mn	ppm	17,9	A
Zn	ppm	9,9	A
Ca/Mg	meq/100 g	1,0	B
Mg/K	meq/100 g	4,6	O
Ca+Mg/K	meq/100 g	9,2	O

INTERPRETACION	
M Ac	Muy Acido
Ac	Acido
Me Ac	Medianamente Acido
L Ac	Ligeramente Acido
P N	Practicamente Neutro
L AL	Ligeramente Alcalino
Me AL	Medianamente Alcalino
AL	Alcalino
N	Neutro
B	Bajo
M	Medio
A	Alto
T	Toxico
NS	No Salino
LS	Ligeramente Salino
S	Salino
MS	Muy Salino
O	Optimo

Parametro analizado	Metodo	Equipo
PH	Electroquímico	PH-Conductimetro Orion 550A
C E	Electroquímico	PH-Conductimetro Orion 550A
Textura	Bouyoucos	Liquidadora Bouyoucos
M O	Gravimetrico	Balanza Analitica
N-Total	KJELDAHL	KJELDAHL
Fosforo	Olsen Mod	Espectrofotometro Genesis 20
K,Ca,Mg	Olsen Mod	Espectrofotometro de A.A Perkin Elmer 100
Fe,Cu,Mn,Zn	Olsen Mod	Espectrofotometro de A.A Perkin Elmer 100

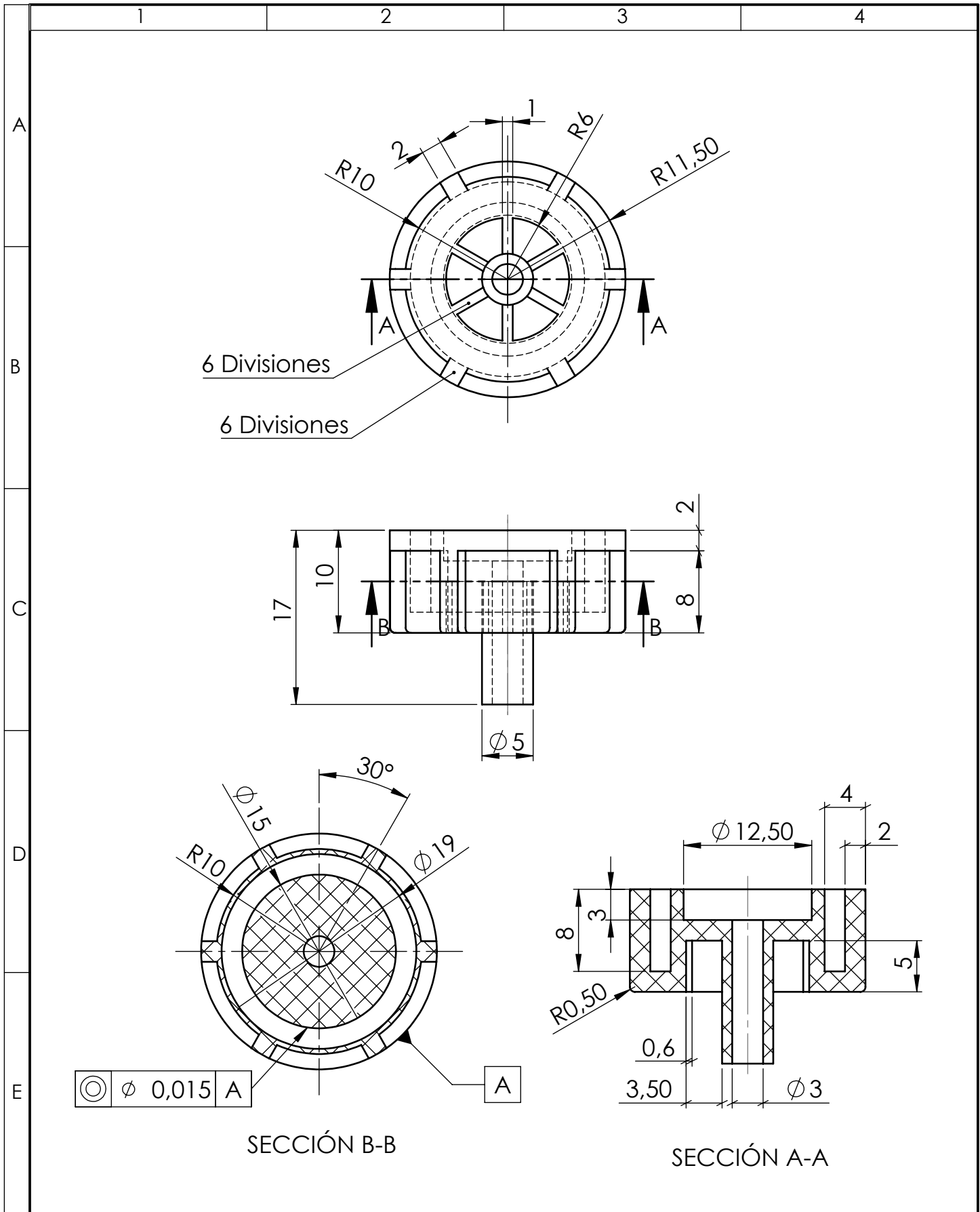
Quim. Marcia Buenaño
RESPONSABLE DEL ANALISIS

PLANOS



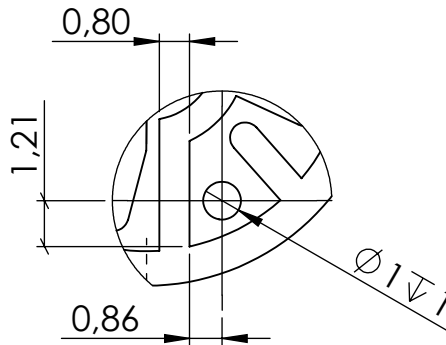
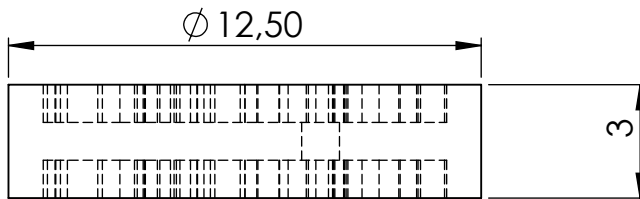
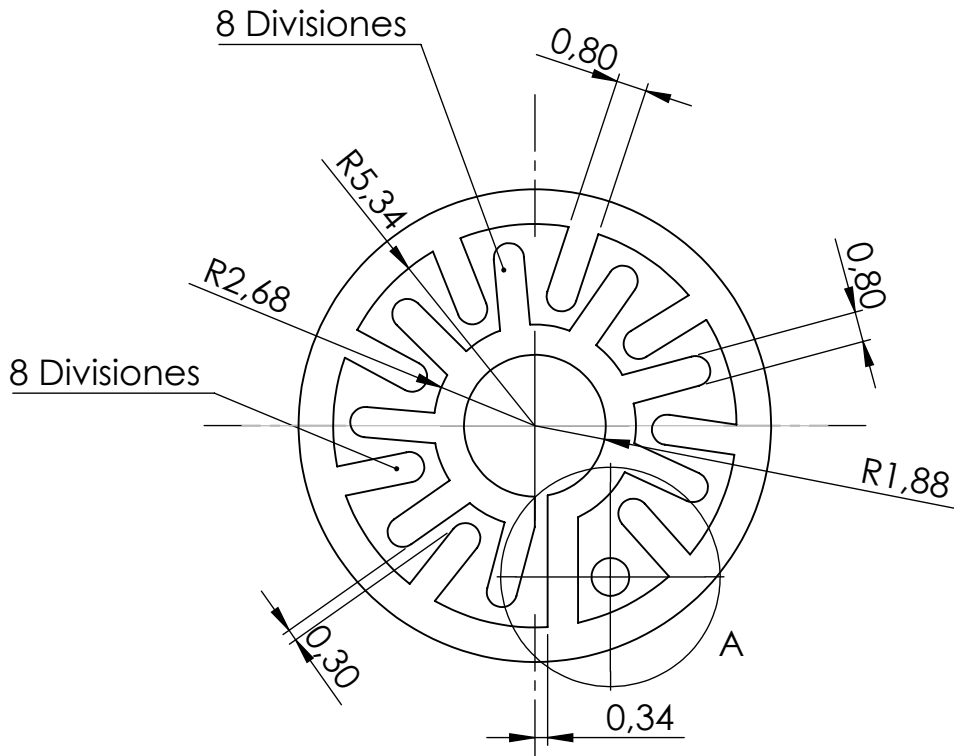
1	3	SALIDA RAINBOW		ABS	1,98	
1	2	LABERNTO RAINBOW		Caucho	0,38	
1	1	ENTRADA RAINBOW		ABS	3,16	
No.de orden	No. de pieza	Denominación	Número de norma o dibujo	Material	Peso gr/pieza	Observaciones

TOLERANCIA:		PESO:		MATERIAL:		
±1		5,48 gr		VARIOS		
FECHA		NOMBRE		TÍTULO:		ESCALA:
DIBUJO: 22/12/2016		Diego Zúñiga		EMISOR RAINBOW ITALY ADQUIRIDO		2:1
REVISO: 19/01/2017		Ing. Diego Núñez		APROBO: 19/01/2017		REGISTRO:
APROBO: 19/01/2017		Ing. Diego Núñez		N.º DE LAMINA		
U.T.A.		INGENIERIA MECANICA		HOJA 1 DE 21		
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:	SUSTITUCION:		



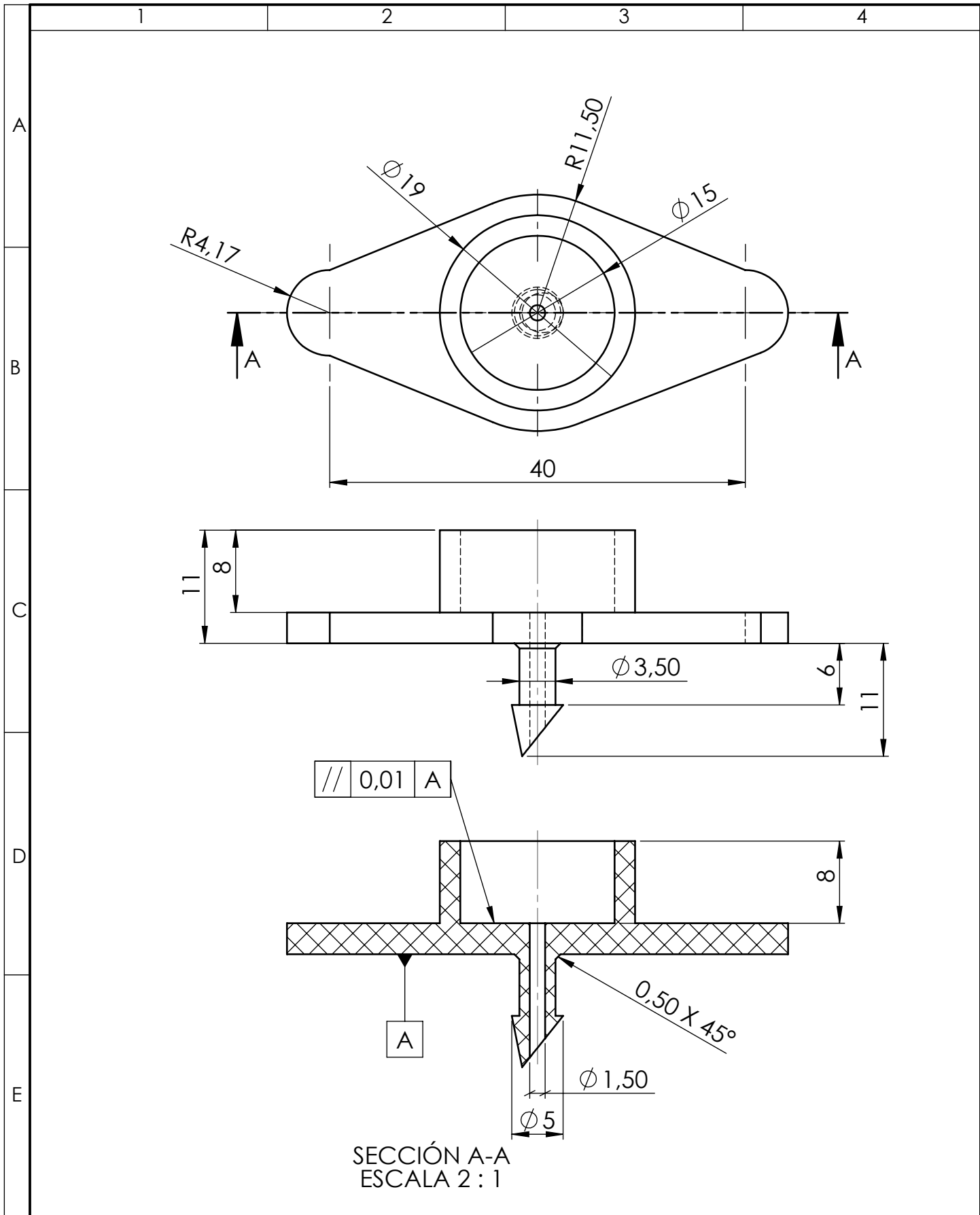
				TOLERANCIA: ±1	PESO: 1,98 gr	MATERIAL: ABS	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	ESCALA:
				DIBUJO: 22/12/2016	Diego Zúñiga	ENTRADA RAINBOW ADQUIRIDO	2:1
				REVISO: 04/01/2017	Ing. Diego Núñez		
				APROBO: 04/01/2017	Ing. Diego Núñez		
				U.T.A.		N.º DE LAMINA	REGISTRO:
						INGENIERIA MECANICA	
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:	SUSTITUCION:			

Profundidad del laberinto 1mm



DETALLE A
ESCALA 5 : 1

				TOLERANCIA: ±1	PESO: 0,34 gr	MATERIAL: CAUCHO	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	ESCALA:
				DIBUJO: 22/12/2016	Diego Zúñiga	LABERNTO RAINBOW ADQUIRIDO	5:1
				REVISO: 04/01/2017	Ing. Diego Núñez		
				APROBO: 04/01/2017	Ing. Diego Núñez		
				U.T.A. INGENIERIA MECANICA		N.º DE LAMINA	REGISTRO:
						HOJA 3 DE 21	
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:	SUSTITUCION:			



				TOLERANCIA: ± 1	PESO: 3,16 gr	MATERIAL: ABS	
						TÍTULO: SALIDA RAINBOW ADQUIRIDO	ESCALA: 2:1
				FECHA DIBUJO: 22/12/2016	NOMBRE Diego Zúñiga		
				REVISO: 19/01/2017	Ing. Diego Núñez		
				APROBO: 19/01/2017	Ing. Diego Núñez		
				U.T.A.		N.º DE LAMINA HOJA 4 DE 21	REGISTRO:
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:	INGENIERIA MECANICA		SUSTITUCION:	

1

2

3

4

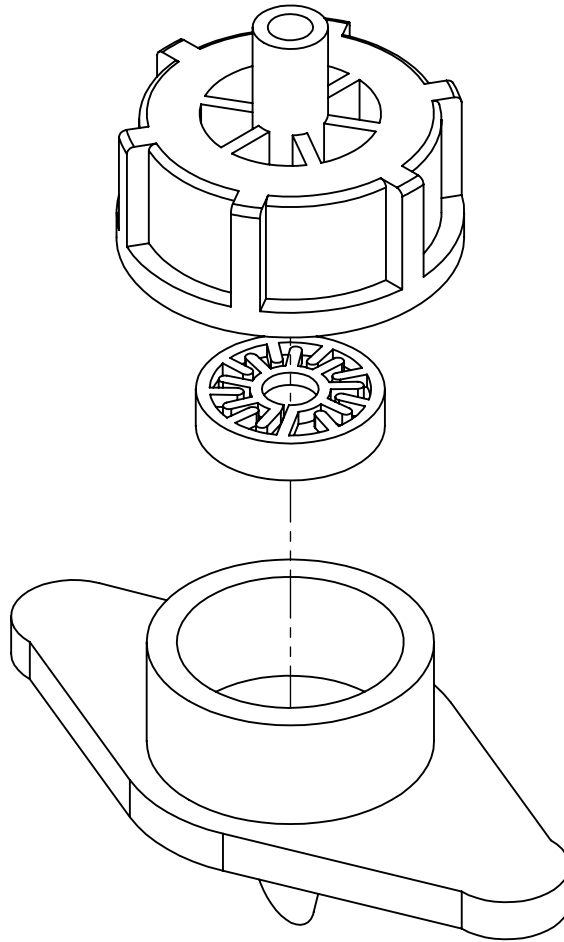
A

B

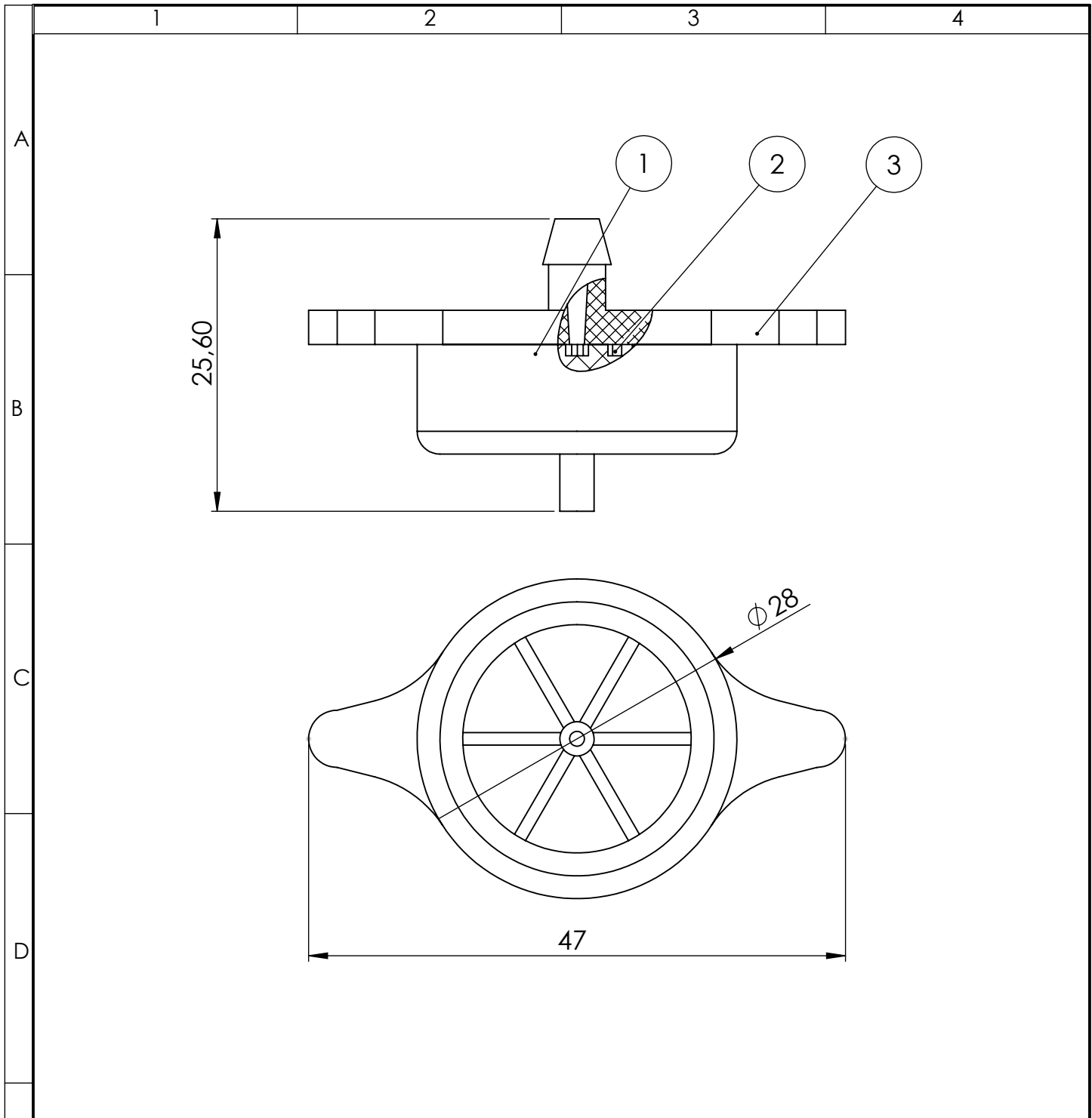
C

D

E

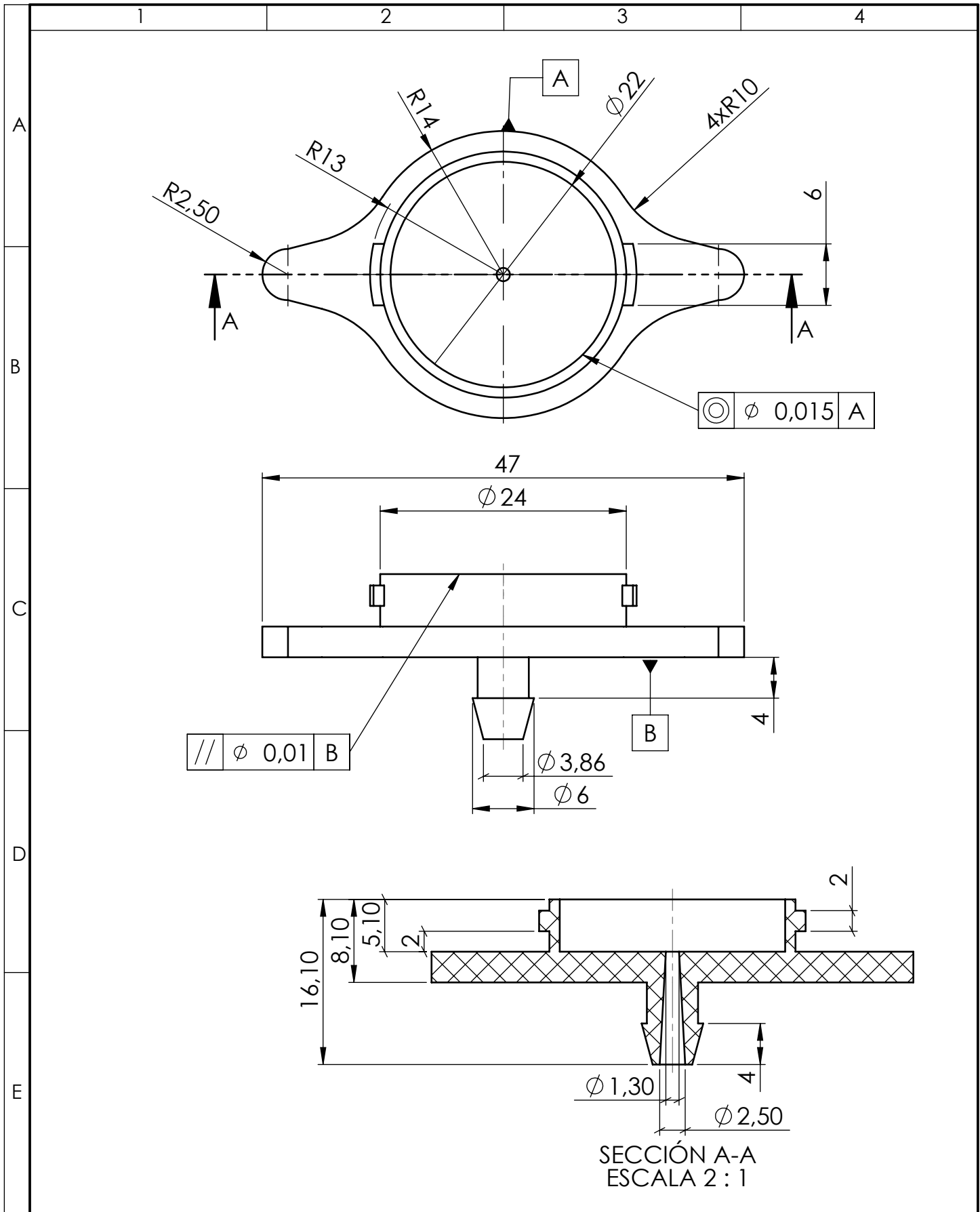


				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				±1	5,48gr	VARIOS	
					FECHA	NOMBRE	TÍTULO:
				DIBUJO:	04/01/2017	Diego Zúñiga	RAINBOW ITALY ADQUIRIDO EXPLOTADA
				REVISO:	19/01/2017	Ing. Diego Núñez	
				APROBO:	19/01/2017	Ing. Diego Núñez	
				U.T.A. INGENIERIA MECANICA		N.º DE LAMINA	ESCALA:
						HOJA 5 DE 21	2:1
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCION:	REGISTRO:



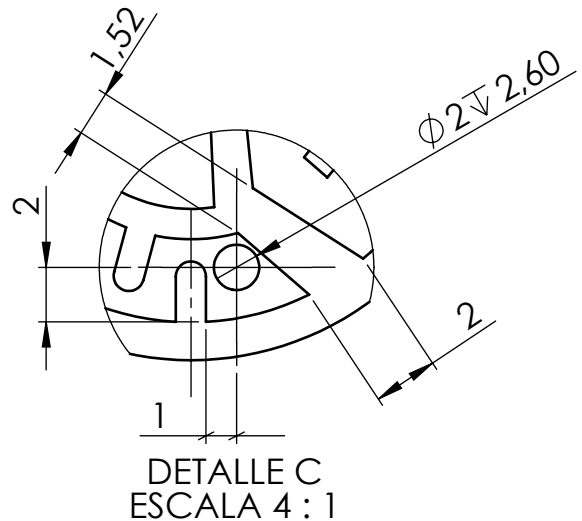
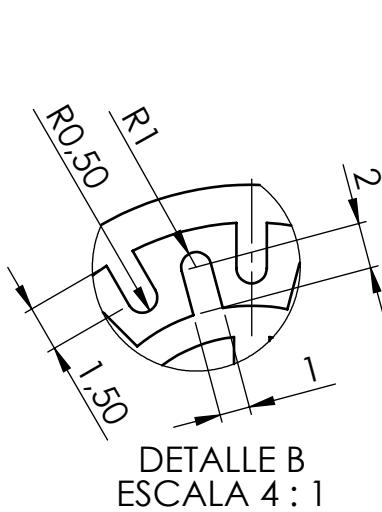
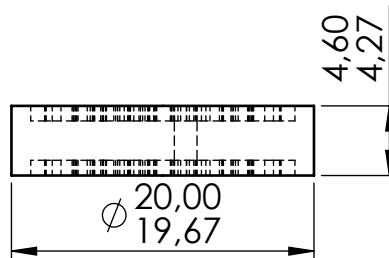
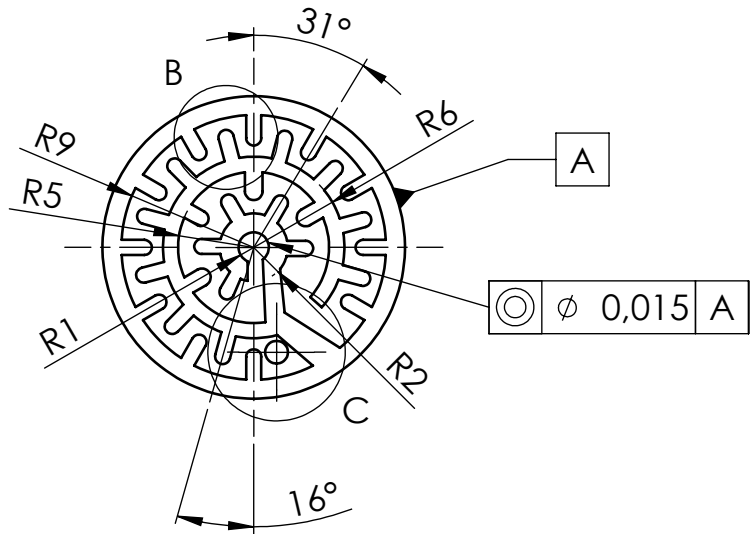
3	1	ENTRADA A		ABSi	2,80	Material de impresión 3D termoplástico
2	1	LABERINTO A		ABSi	2,86	Material de impresión 3D termoplástico
1	1	SALIDA A		ABSi	1,20	Material de impresión 3D termoplástico
No. de pieza	No. de orden	Denominación	N. de norma o dibujo	Material	Peso gr/pieza	Observaciones

TOLERANCIA:		PESO:		MATERIAL:		
-0.33		6,86 gr		ABSi Termoplastico		
FECHA		NOMBRE		TÍTULO:		ESCALA:
DIBUJO: 19/12/2016		Diego Zuñiga		EMISOR A PROPUESTO		2:1
REVISO: 04/01/2017		Ing. Diego Núñez		N.º DE LAMINA		REGISTRO:
APROBO: 04/01/2017		Ing. Diego Núñez		HOJA 6 DE 21		
EDICIÓN:		MODIFICACION:		SUSTITUCION:		
FECHA:		NOMBRE:		U.T.A. INGENIERIA MECANICA		

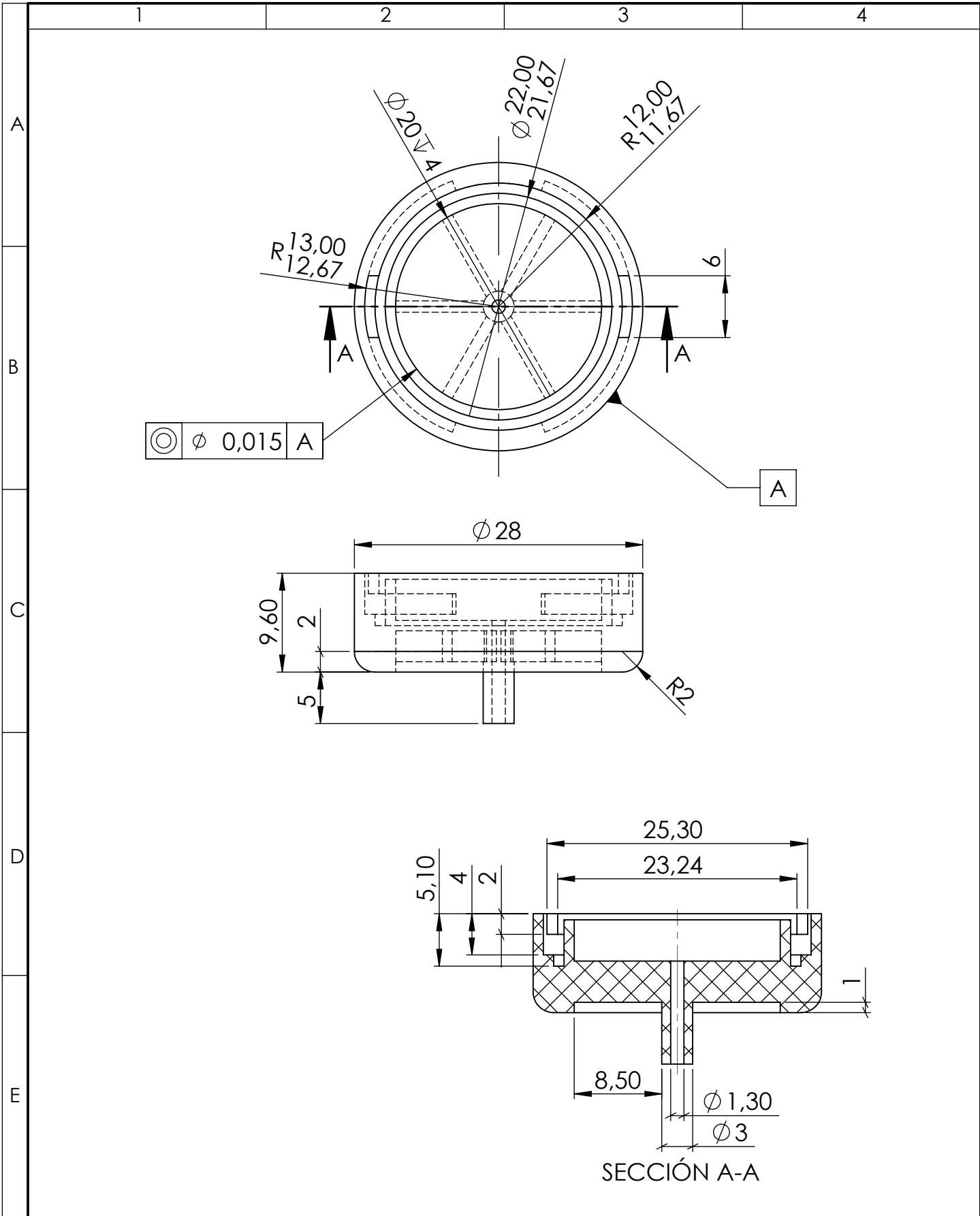


				TOLERANCIA: -0,33	PESO: 2,80 gr	MATERIAL: ABSi	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	ESCALA:
				DIBUJO: 18/12/2016	Diego Zuñiga	ENTRADA A PROPUESTO	2:1
				REVISO: 04/01/2017	Ing. Diego Núñez		
				APROBO: 04/01/2017	Ing. Diego Núñez		
				U.T.A.		N.º DE LAMINA	REGISTRO:
				INGENIERIA MECANICA		HOJA 7 DE 21	
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCION:	

Profundidad de corte del laberinto 1mm
 Numero de Divisiones Z=11



				TOLERANCIA: -0,33	PESO: 1,2 gr	MATERIAL: ABSi	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO: LABERINTO A ROPUESTO	ESCALA: 2:1
				DIBUJO: 18/12/2016	Diego Zúñiga		
				REVISO: 04/01/2017	Ing. Diego Núñez		
				APROBO: 04/01/2017	Ing. Diego Núñez	N.º DE LAMINA HOJA 8 DE 21	REGISTRO:
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:	U.T.A. INGENIERIA MECANICA		SUSTITUCION:	



				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				-0,33	2,86 gr	ABSi	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	ESCALA:
				DIBUJO: 19/12/2016	Diego Zúñiga	SALIDA A PROPUESTO	2:1
				REVISO: 04/01/2017	Ing. Diego Núñez		
				APROBO: 04/01/2017	Ing. Diego Núñez		
				U.T.A.		N.º DE LAMINA	REGISTRO:
						HOJA 9 DE 21	
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:	INGENIERIA MECANICA		SUSTITUCION:	

1

2

3

4

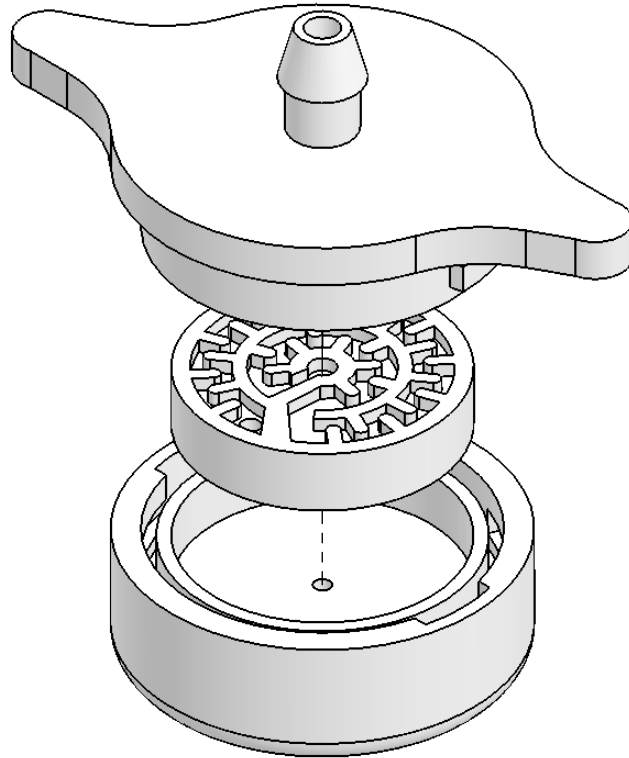
A

B

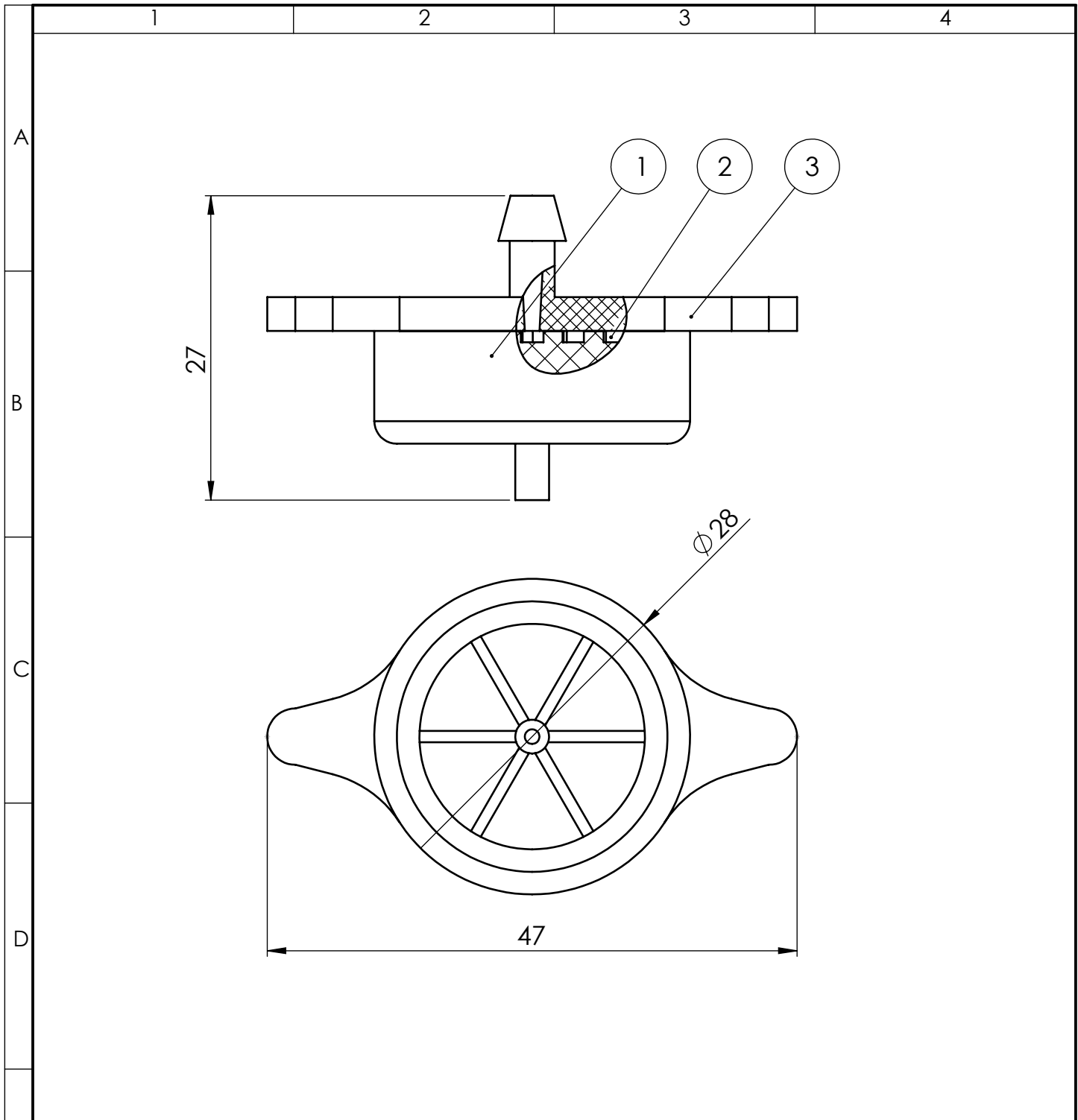
C

D

E

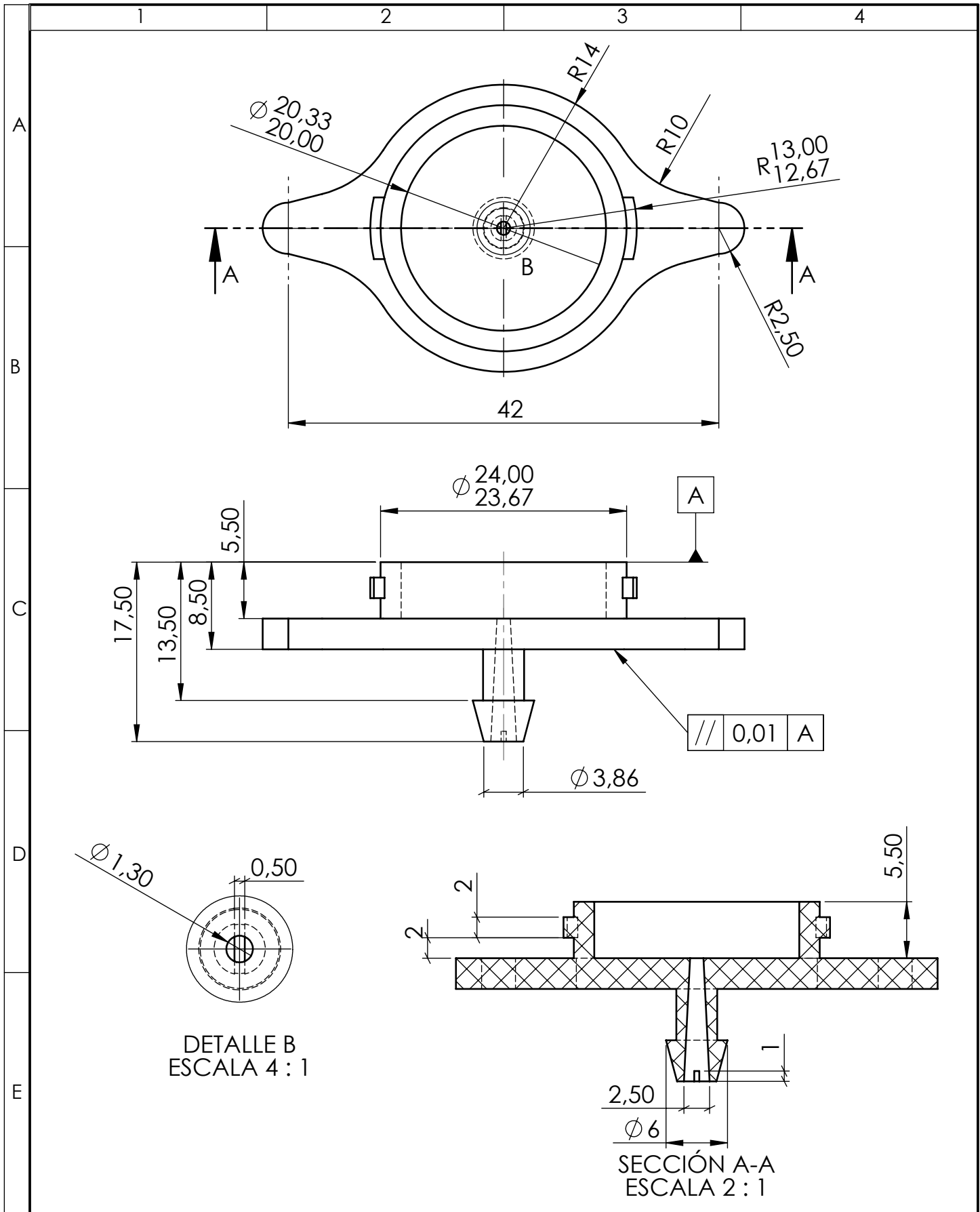


				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				-0,33	6,86gr	ABSi	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	ESCALA:
				DIBUJO: 15/12/2016	Diego Zúñiga	EMISOR A PROPUESTO EXPLOTADA	2:1
				REVISO: 19/01/2017	Ing. Diego Núñez		
				APROBO: 19/01/2017	Ing. Diego Núñez		
				U.T.A.		N.º DE LAMINA	REGISTRO:
				INGENIERIA MECANICA		HOJA 10 DE 21	
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCION:	



1	3	ENTRADA B		ABSi	3,19 gr	Material de impresión 3D termoplástico
1	2	LABERINTO B		ABSi	1,09 gr	Material de impresión 3D termoplástico
1	1	SALIDA B		ABSi	2,85 gr	Material de impresión 3D termoplástico
No. de orden	No. de pieza	Denominación	Número de norma o dibujo	Material	Peso en gramos	Observaciones

TOLERANCIA:		PESO:		MATERIAL:		
-0,33		7,13 gr		ABSi		
FECHA		NOMBRE		TÍTULO:		ESCALA:
DIBUJO: 20/12/2016		Diego Zúñiga		EMISOR B PROPUESTO		2:1
REVISO: 04/01/2017		Ing. Diego Núñez		APROBO: 04/01/2017		Ing. Diego Núñez
U.T.A.				N.º DE LAMINA		REGISTRO:
INGENIERIA MECANICA				HOJA 11 DE 21		
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:	SUSTITUCION:		



DETALLE B
ESCALA 4 : 1

SECCIÓN A-A
ESCALA 2 : 1

				TOLERANCIA: ± 1	PESO: 3,19 gr	MATERIAL: ABSi	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	ESCALA:
				DIBUJO: 21/12/2016	Diego Zúñiga	ENTRADA B PROPUESTO	2:1
				REVISO: 04/01/2017	Ing. Diego Núñez		
				APROBO: 04/01/2017	Ing. Diego Núñez		
				U.T.A. INGENIERIA MECANICA		N.º DE LAMINA	REGISTRO:
						HOJA 12 DE 21	
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:	SUSTITUCION:			

1

2

3

4

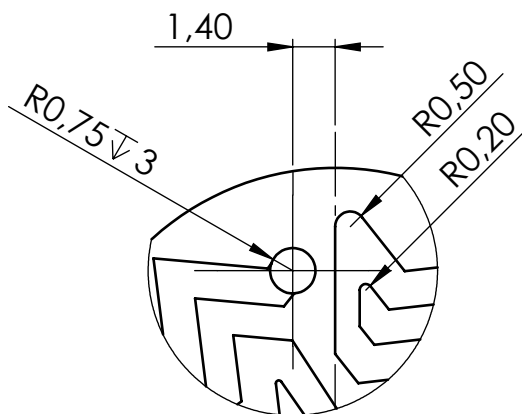
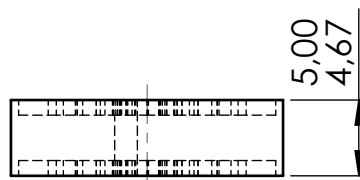
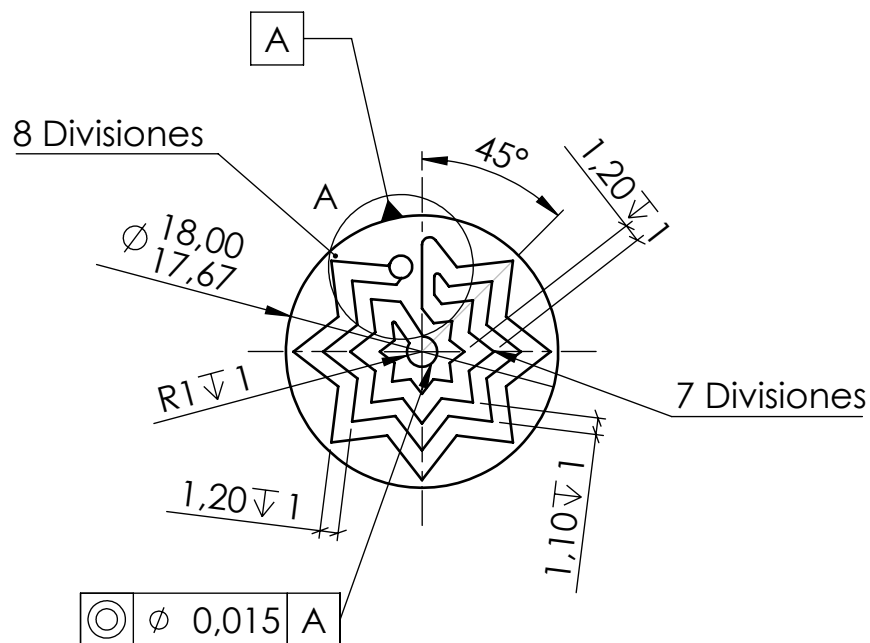
A

B

C

D

E



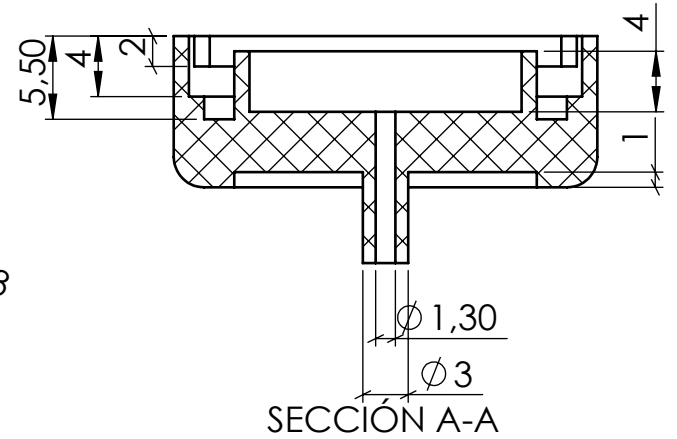
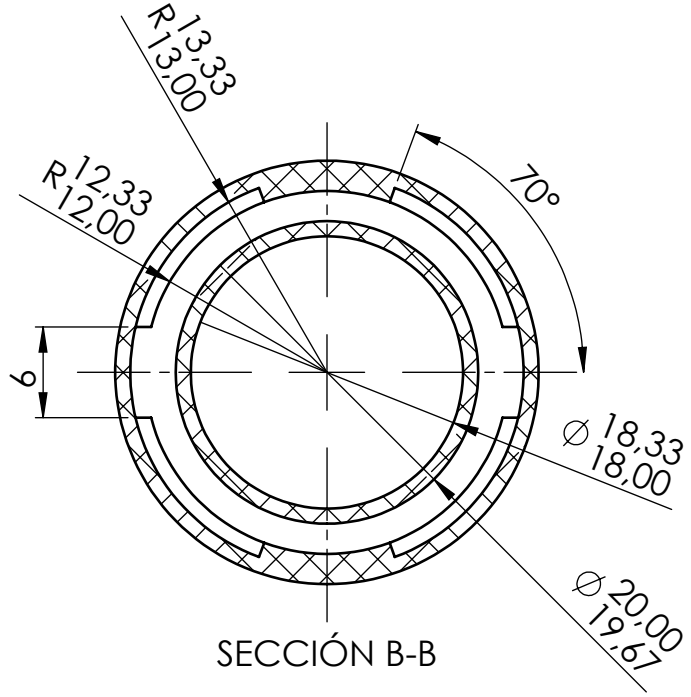
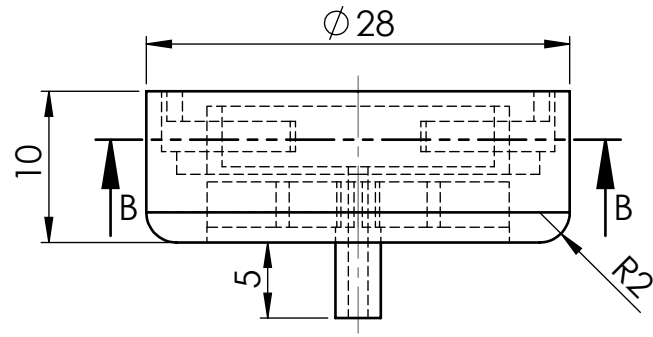
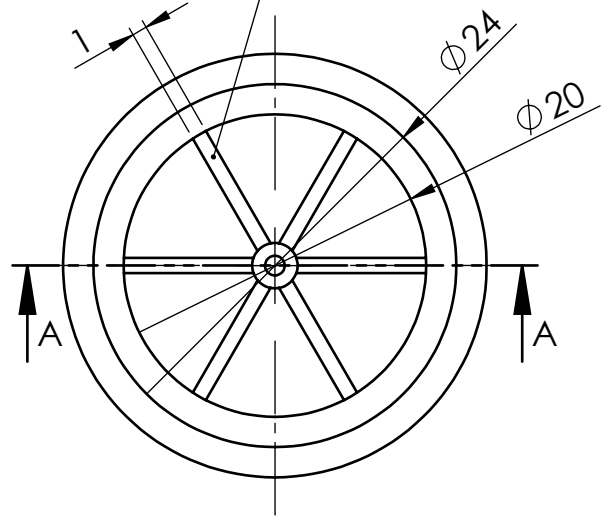
DETALLE A
ESCALA 4 : 1

				TOLERANCIA: ± 1	PESO: 1 .09 gr	MATERIAL: ABSi	
						TÍTULO: 13 LABERINTO B PROPUESTO	ESCALA: 2:1
				FECHA	NOMBRE		
				DIBUJO: 21/12/2016	Diego Zúñiga		
				REVISO: 19/01/2017	Ing. Diego Núñez		
				APROBO: 19/01/2017	Ing. Diego Núñez		
				U.T.A.		N.º DE LAMINA	REGISTRO:
						INGENIERIA MECANICA	
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:	SUSTITUCION:			

1 2 3 4

A
B
C
D
E

Dividir en 5 elementos



				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				±1	2,85 gr	ABSi	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	ESCALA:
				DIBUJO: 21/12/2016	Diego Zúñiga	SALIDA B PROPUESTO	2:1
				REVISO: 04/01/2017	Ing. Diego Núñez		
				APROBO: 04/01/2017	Ing. Diego Núñez		
				U.T.A.		N.º DE LAMINA	REGISTRO:
				INGENIERIA MECANICA		HOJA 14 DE 21	
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:	SUSTITUCION:			

1

2

3

4

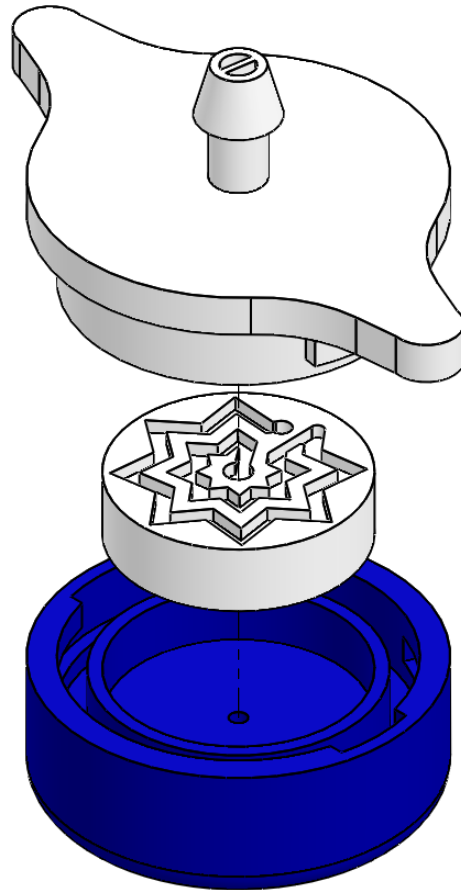
A

B

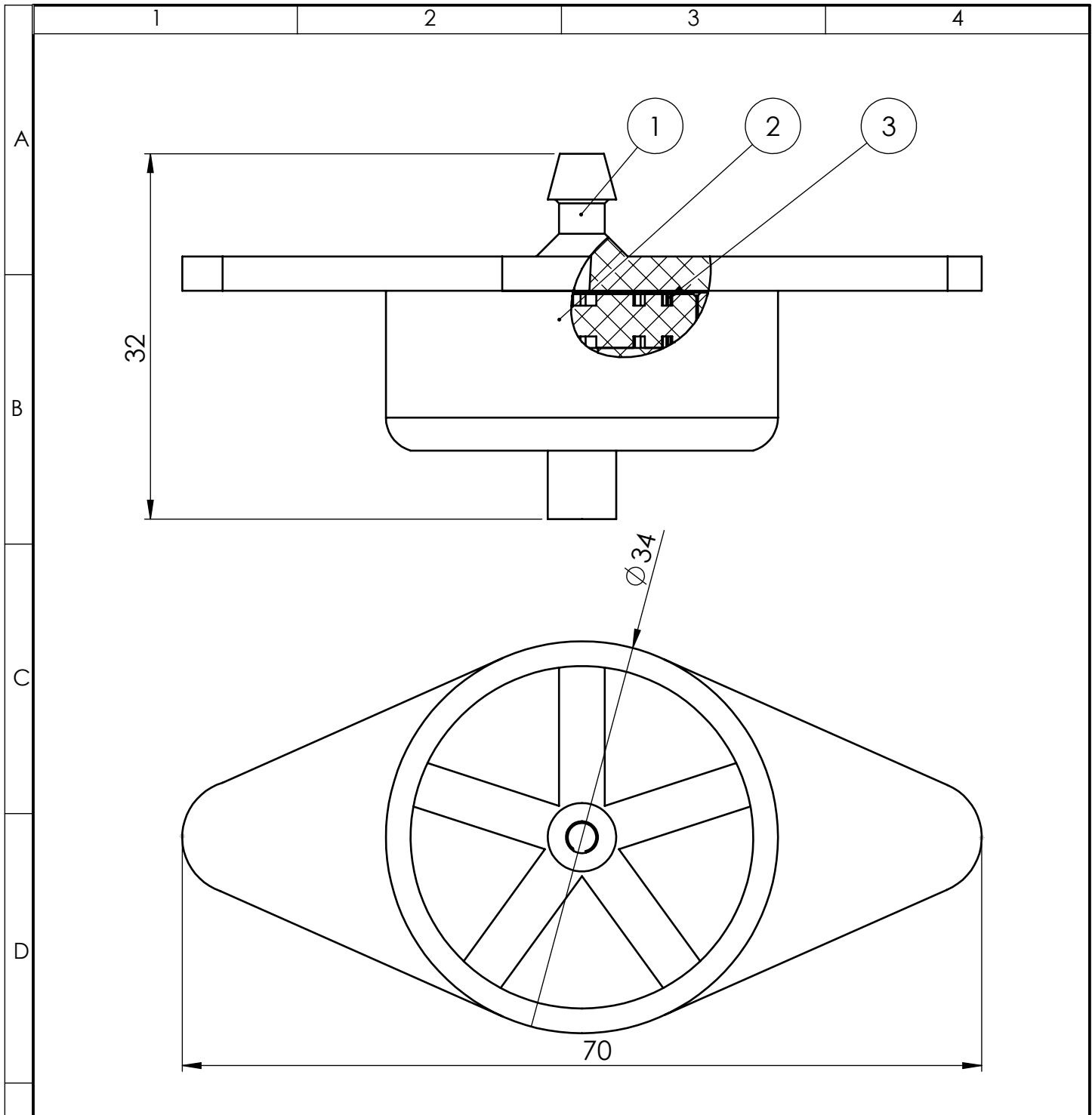
C

D

E

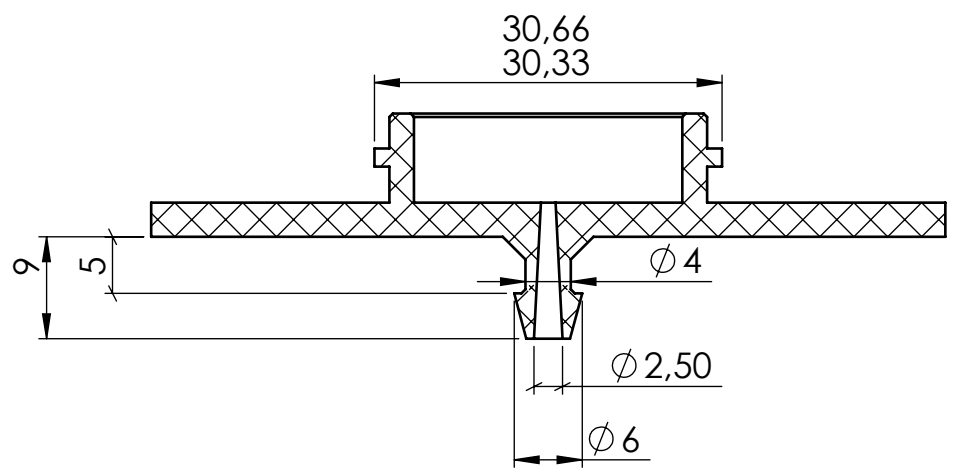
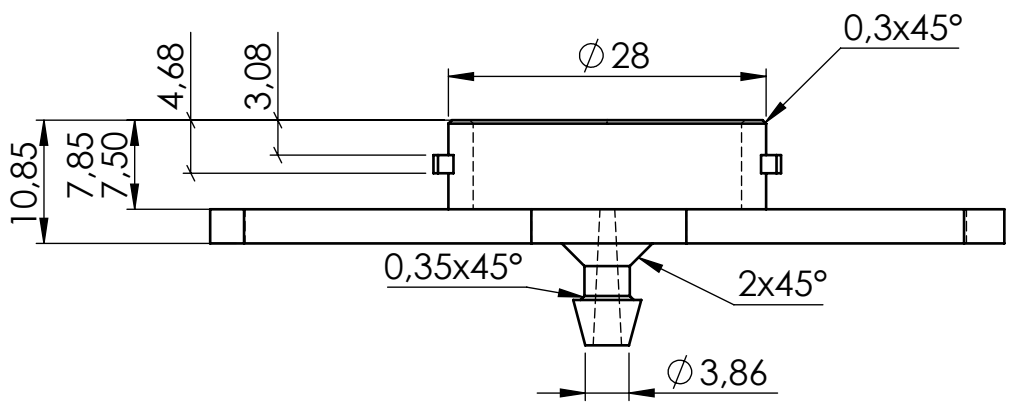
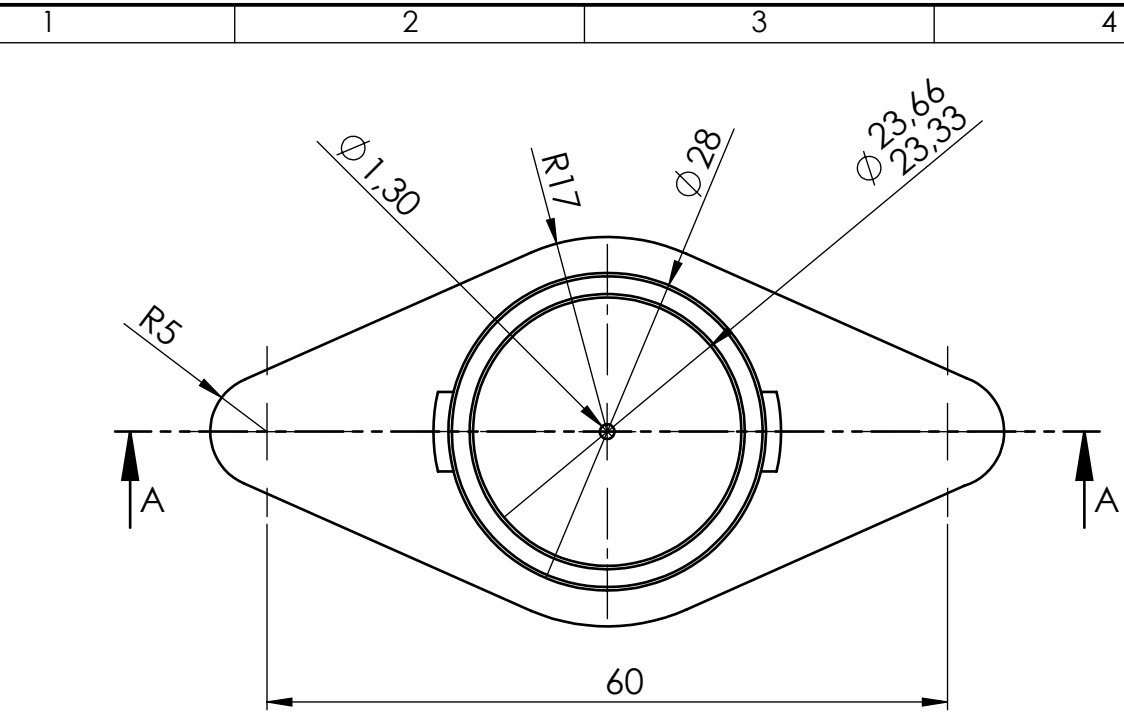


				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				±1	7,6 gr	ABSi	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	ESCALA:
				DIBUJO: 21/12/2016	Diego Zúñiga	EMISOR B PROPUESTO EXPLOTADA	2:1
				REVISO: 04/01/2017	Ing. Diego Núñez		
				APROBO: 04/01/2017	Ing. Diego Núñez		
				U.T.A.		N.º DE LAMINA	REGISTRO:
				INGENIERIA MECANICA		HOJA 15 DE 21	
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCION:	



1	3	LABERINTO C		ABSi	1,50	Material de impresión 3D termoplástico
1	2	SALIDA C		ABSi	7,32	Material de impresión 3D termoplástico
1	1	ENTRADA C		ABSi	6,22	Material de impresión 3D termoplástico
No. de orden	No. de pieza	Denominación	Número de norma o dibujo	Material	Peso gr/pieza	Observaciones

		TOLERANCIA:		PESO:		MATERIAL:	
		±1		15,05 gr		ABSi	
		FECHA	NOMBRE		TÍTULO:		ESCALA:
		DIBUJO: 21/12/2016	Diego Zúñiga		16 EMISOR C PROPUESTO		2:1
		REVISO: 23/02/2017	Ing. Diego Núñez				
		APROBO: 23/02/2017	Ing. Diego Núñez				
		U.T.A.		N.º DE LAMINA		REGISTRO:	
		INGENIERIA MECANICA		HOJA 16 DE 21			
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:	SUSTITUCION:			



SECCIÓN A-A
ESCALA 1.5 : 1

				TOLERANCIA: ±1	PESO: 6,22 gr	MATERIAL: ABSi	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	ESCALA:
				DIBUJO: 21/12/2016	Diego Zuñiga	ENTRADA C PROPUESTO	1.5:1
				REVISO: 04/01/2017	Ing. Diego Núñez		
				APROBO: 04/01/2017	Ing. Diego Núñez		
				U.T.A.		N.º DE LAMINA	REGISTRO:
				INGENIERIA MECANICA		HOJA 17 DE 21	
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCION:	

1

2

3

4

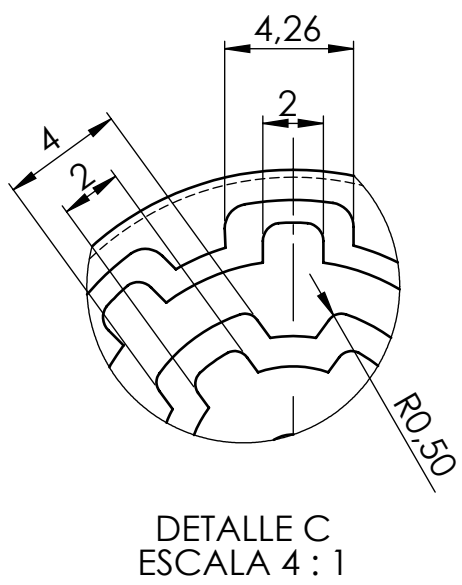
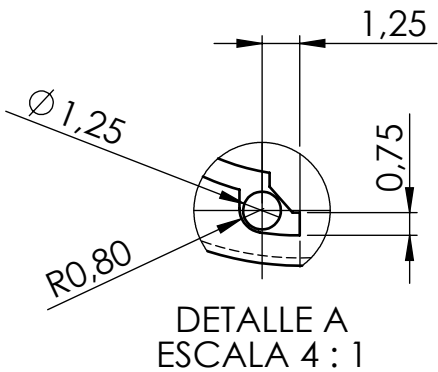
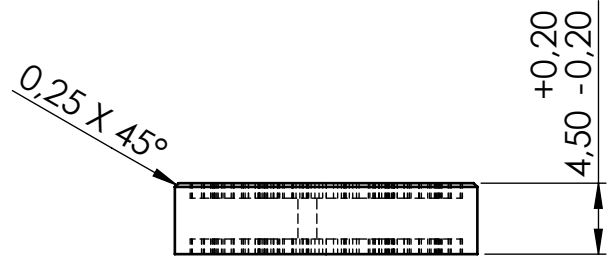
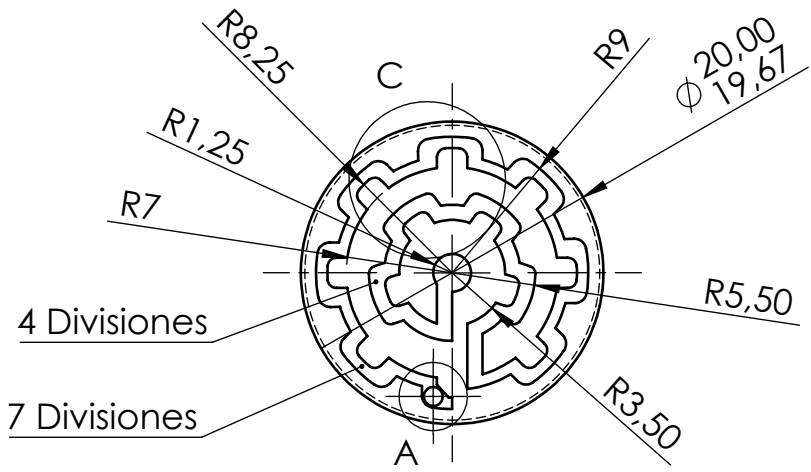
A

B

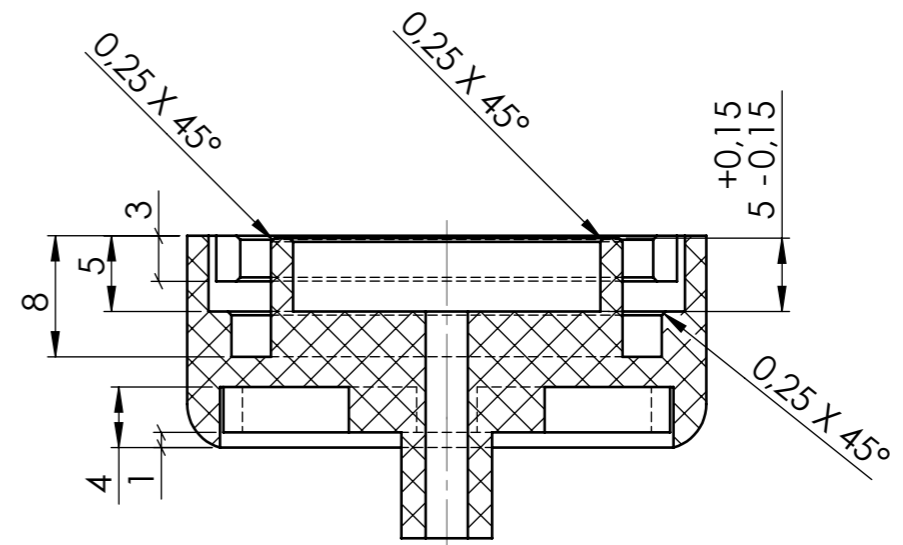
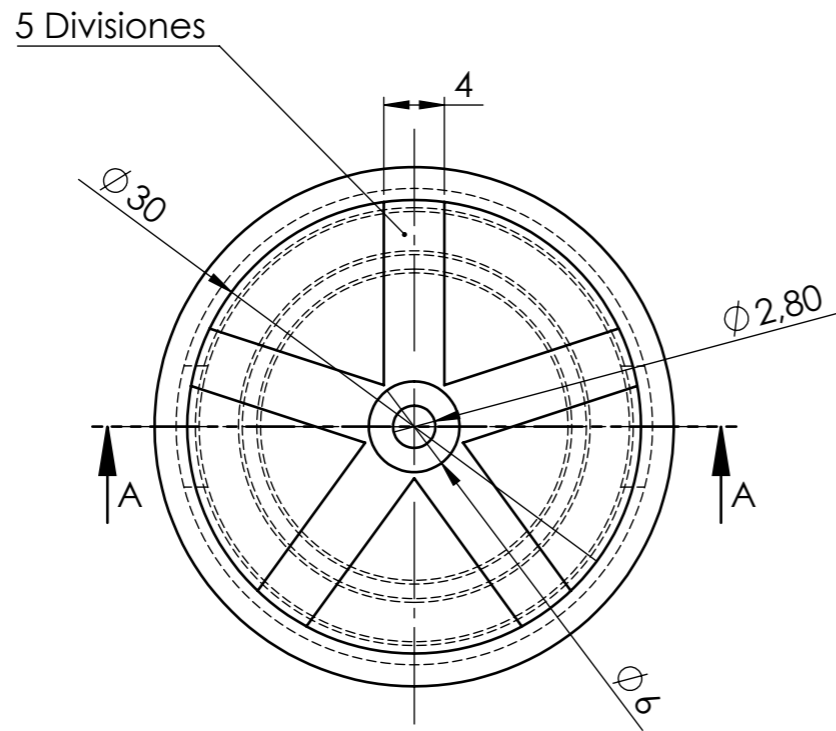
C

D

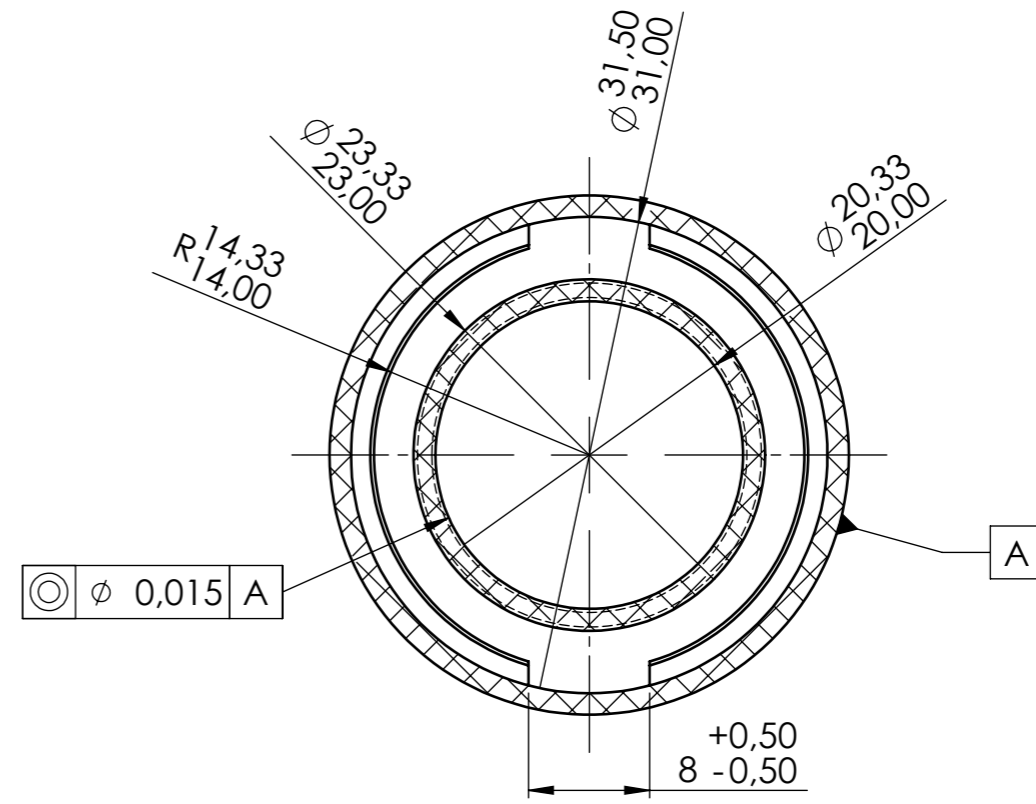
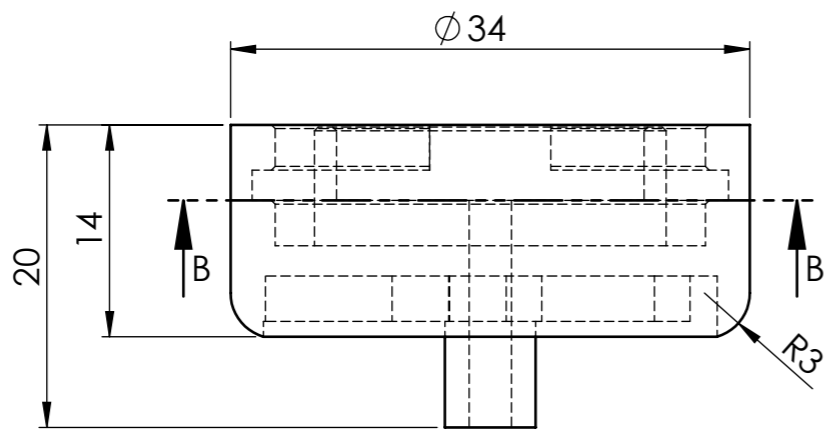
E



				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				± 1	1.5 gr	ABSi	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	ESCALA:
				DIBUJO: 22/12/2016	Diego Zúñiga	LABERINTO C	2:1
				REVISO: 19/01/2017	Ing. Diego Núñez		
				APROBO: 19/01/2017	Ing. Diego Núñez		
				U.T.A.		N.º DE LAMINA	REGISTRO:
				INGENIERIA MECANICA		HOJA 18 DE 21	
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCION:	



SECCIÓN A-A



SECCIÓN B-B

				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:		
				± 1	7,32 gr	ABSi		
				FECHA:	NOMBRE:	TÍTULO:		ESCALA:
				DIBUJO: 21/12/2016	Diego Zúñiga	SALIDA C PROPUESTO		2:1
				REVISO: 04/01/2017	Ing. Diego Núñez			
				APROBO: 04/01/2017	Ing. Diego Núñez			
				U.T.A.		N.º DE LAMINA		REGISTRO:
				INGENIERIA MECANICA		HOJA 19 DE 21		
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:	SUSTITUCION:				

1

2

3

4

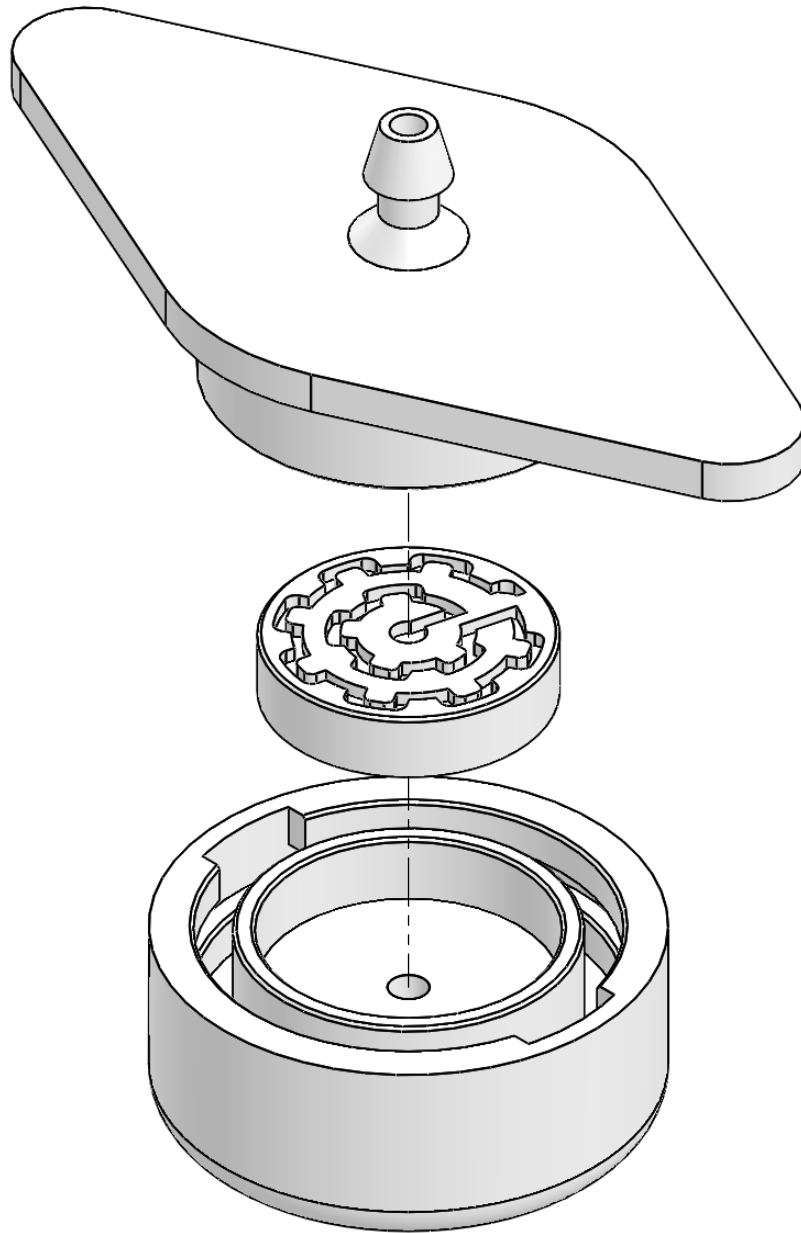
A

B

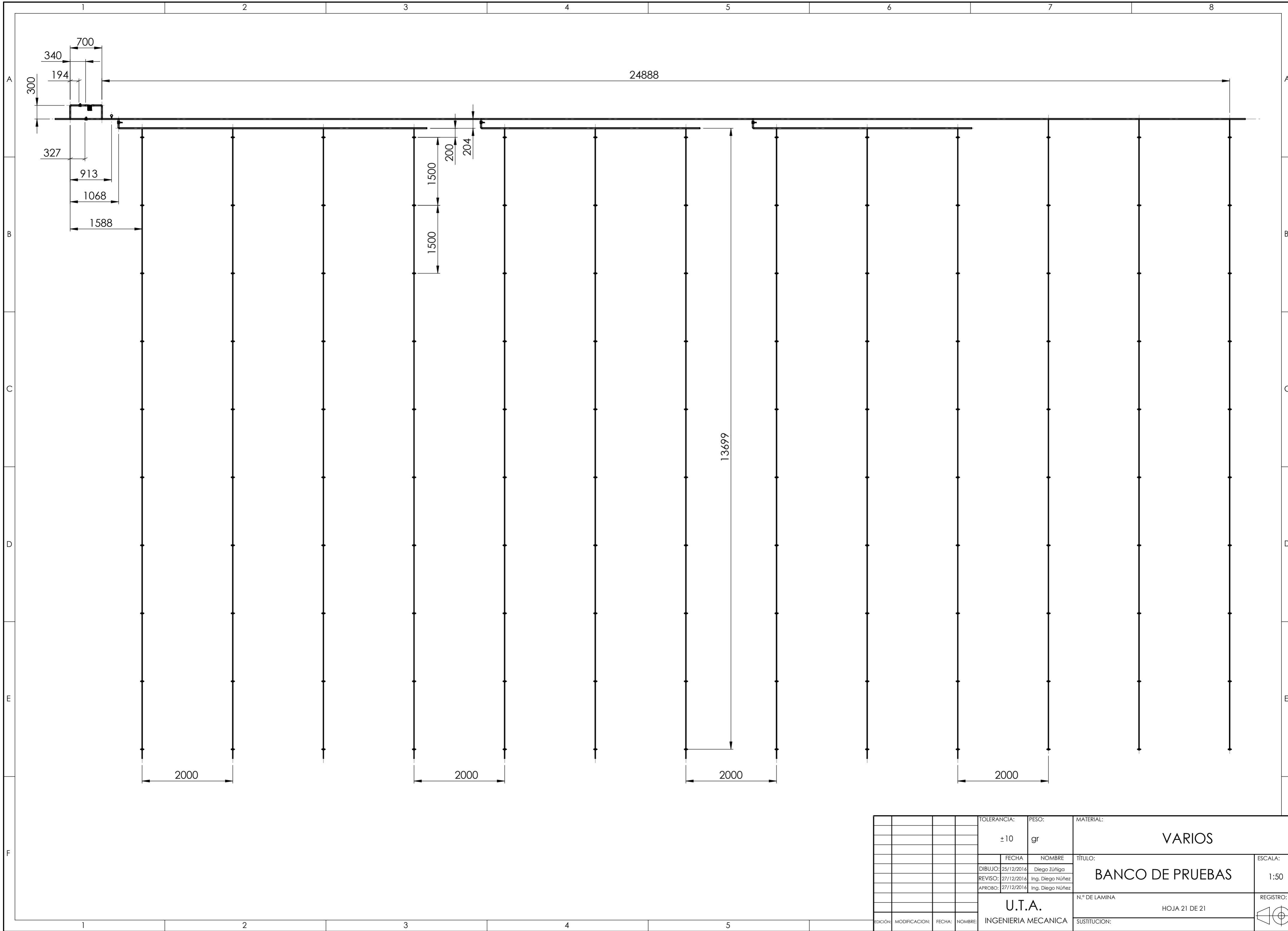
C

D

E



				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				±1	15.05 gr	ABSi	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	ESCALA:
				DIBUJO: 22/12/2016	Diego Zúñiga	EMISOR C PROPUESTO EXPLOTADA	2:1
				REVISO: 04/01/2017	Ing. Diego Nuñez		
				APROBO: 04/01/2017	Ing. Diego Nuñez		
				U.T.A.		N.º DE LAMINA	REGISTRO:
				INGENIERIA MECANICA		HOJA 20 DE 21	
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCION:	



				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				± 10	gr	VARIOS	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	ESCALA:
				DIBUJO: 25/12/2016	Diego Zúñiga	BANCO DE PRUEBAS	1:50
				REVISO: 27/12/2016	Ing. Diego Núñez		
				APROBO: 27/12/2016	Ing. Diego Núñez		
				U.T.A.		N.º DE LAMINA	REGISTRO:
				INGENIERIA MECANICA		HOJA 21 DE 21	
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCION:	