



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**

*La Universidad Católica de Loja*

**ÁREA TÉCNICA**

TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

**Determinación del coeficiente  $K_e$  para emisores de riego.**

TRABAJO DE TITULACIÓN

**AUTOR:** Arias Salinas, José Javier

**DIRECTORA:** Lapo Pauta, Carmen Mireya, Msc.

**CODIRECTOR:** Benavides Muñoz, Holger Manuel, Ph D.

LOJA- ECUADOR

2015

## **APROBACIÓN DE LA DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Msc.

Carmen Mireya Lapo Pauta

**DOCENTE DE LA TITULACIÓN**

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: "Determinación del coeficiente  $K_e$  para emisores de riego.", realizado por: Arias Salinas José Javier, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, noviembre de 2015

f: \_\_\_\_\_

## APROBACIÓN DEL CODIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Dr.

Holger Manuel Benavides Muñoz. Ph D.

### **DOCENTE DE LA TITULACIÓN**

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: "Determinación del coeficiente  $K_e$  para emisores de riego.", realizado por: Arias Salinas José Javier, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, noviembre de 2015

f: \_\_\_\_\_

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo, Arias Salinas José Javier declaro ser autor (a) del presente trabajo de titulación: “Determinación del coeficiente  $K_e$  para emisores de riego.”, de la Titulación de Ingeniero Civil, siendo Msc. Carmen Mireya Lapo Pauta directora y Dr. Holger Manuel Benavides Muñoz. Ph D. codirector del presente trabajo y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo de investigación, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f: \_\_\_\_\_

**Autor:** Arias Salina, José Javier

**Cédula:** 1104885643

## DEDICATORIA

*Con afecto y justo orgullo, dedico este trabajo a mis padres José y Josefina y a mis demás familiares porque con su comprensión y apoyo constante, colaboraron con esta anhelada meta.*

*Este trabajo está dedicado a los futuros estudiantes para que si en algo es posible les ayude en sus estudios y permita abrirles el camino para alcanzar sus metas futuras.*

*A mis compañeros, con los cuales he compartido numerosas horas de estudio, donde se ha fortalecido los conocimientos adquiridos y se ha forjado una gran amistad*

*A todos mis amigos que me han brindado su sincera y desinteresada amistad, y siempre han estado junto a mí en las buenas y en las malas, les dedico este Trabajo de Fin de Titulación.*

*A mis maestros que compartieron sus sabias experiencias y consejos con los cuales me permitieron llegar a ser un mejor estudiante y persona.*

## AGRADECIMIENTO

*A la Universidad Técnica Particular de Loja que me ha permitido instruirme en la formación profesional de Ingeniero Civil, además de fomentar los valores de servicio a la sociedad en mí persona.*

*A los integrantes de la Titulación de Ingeniería Civil y en especial a los docentes de la misma, por brindarme desinteresadamente sus enseñanzas tanto en el ámbito teórico, así como en sus propias experiencias de vida, las mismas que me han permitido desarrollarme como una persona y estudiante dedicado a colaborar de manera directa e indirecta en el desarrollo de una mejor sociedad.*

*A mis padres José y Josefina, porque siempre han estado presentes en los momentos difíciles apoyándome, y mediante su ejemplo de humildad y dedicación al trabajo, inculcaron en mí el espíritu de seguir adelante y no dejarme derrotar por las dificultades, gracias a ellos he podido llegar hasta este punto de mi vida.*

*A mis familiares, abuelos, tíos, primos, etc. por su apoyo y consejos ya que estos permitieron directa o indirectamente el desarrollo del presente proyecto.*

*Además quiero dar un agradecimiento muy especial y sincero a mi directora Msc. Carmen Mireya Lapo Pauta y codirector Dr. Holger Manuel Benavides Muñoz, ya que han sido un pilar fundamental en el desarrollo de la presente investigación, siempre dispuestos a aclarar mis dudas, guiarme en los momentos de incertidumbre y compartir su experiencia y equipos con mi persona para el desarrollo del presente Trabajo de Fin de Titulación.*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DE LA DIRECTORA DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN .....	II
APROBACIÓN DEL CODIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN .....	III
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS .....	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO.....	VI
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	VII
ÍNDICE DE TABLAS .....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XIV
RESUMEN EJECUTIVO .....	1
ABSTRACT .....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
1. GENERALIDADES.....	5
1.1. Objetivos .....	6
1.1.1. Objetivo general. ....	6
1.1.2. Objetivos específicos. ....	6
1.2. Antecedentes .....	6
1.3. Justificación.....	7
1.4. Limitaciones. ....	7
2. MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. Estado del arte .....	9
2.1.1. Coeficiente de descarga $K_e$ de emisores.....	9
2.2. Base teórica hidráulica.....	11
2.2.1. Sistemas de riego .....	11
2.2.2. Sistemas de riego a presión .....	12
2.2.2.1. Componentes de una red de riego presurizado. ....	13
2.2.2.2. Tipos de sistemas de riego a presión .....	13

2.2.3. Sistemas de riego por aspersión .....	14
2.2.4. Sistemas de riego localizado .....	15
2.2.4.1. Riego por microaspersión .....	15
2.2.4.2. Riego por goteo.....	16
2.2.5. Pérdidas de carga en sistemas de riego.....	17
2.2.5.1. Pérdidas continuas. ....	17
2.2.5.2. Pérdidas Localizadas. ....	19
2.2.6. Características hidráulicas de los emisores. ....	20
2.2.7. Tipos de emisores de riego. ....	21
2.2.7.1. Aspersores.....	21
2.2.7.2. Microaspersores.....	23
2.2.7.3. Goteros. ....	24
3. ÁREA DE ESTUDIO.....	27
3.1. Ubicación de la zona de estudio. ....	28
3.2. Características de la zona de estudio. ....	28
3.2.1. Clima. ....	28
3.2.2. Recursos hídricos. ....	29
3.2.3. Topografía de la zona de estudio. ....	29
3.3. Red de estudio .....	29
4. MATERIALES Y EQUIPOS.....	31
4.1. Componentes del Sistema. ....	32
4.2. Emisores de riego. ....	32
4.2.1. Aspersores. ....	32
4.2.1.1. Aspersor MegaNet (naranja 650 l/h).....	33
4.2.1.2. Aspersor Naan maestro (azul). ....	33
4.2.1.3. Aspersor Naan 5022 (azul). ....	34
4.2.2. Microaspersores.....	35
4.2.2.1. Microaspersor GyroNet turbo 200 L/h (amarillo). ....	36
4.2.2.2. Microaspersor Mini Wobbler (½'). ....	37
4.2.2.3. Microaspersor SpiNet 70 L/h (negro 30 cm). ....	38
4.2.3. Goteros. ....	38
4.2.3.1. Gotero Tiran 16009.....	39
4.2.3.2. Gotero PCJ autocompensante.....	40
4.2.3.3. Gotero Turbo-Key plus.....	40
4.3. Elementos que conforman la red de estudio. ....	41
4.3.1. Tanque de reserva horizontal. ....	42
4.3.2. Tanque de reserva cónico. ....	42



4.3.3. Bomba Pedrollo CPm 620. ....	43
4.3.4. Filtro de red. ....	44
4.3.5. Válvula de corte. ....	45
4.3.6. Manómetro. ....	46
4.3.7. Medidor análogo de volumen. ....	46
4.4. Equipo electrónico destinado a la obtención de datos de presión y caudal. ....	47
5. METODOLOGÍA.....	49
5.1. Reconocimiento y levantamiento topográfico del terreno donde se ubica la parcela de estudio. .....	50
5.2. Diseño del sistema de riego y definición del material a instalar. ....	50
5.3. Instalación del sistema de riego con los emisores a evaluar.....	51
5.4. Calibración del equipo electrónico de obtención de datos de campo.....	52
5.5. Obtención de datos experimentales (análoga, sensometría). ....	52
5.6. Cálculo y análisis de coeficientes de descarga Ke de los emisores seleccionados.....	53
5.7. Modelación de coeficientes de descarga Ke de los aspersores en la red de estudio mediante el software libre EPANET 2.0 v. E. ....	54
5.8. Obtención del caudal real descargado por los emisores y comparación con el obtenido mediante sensometría.....	55
6. RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	56
6.1. Resultado y análisis. ....	57
6.1.1. Goteros. ....	57
6.1.1.1. Tiran 16009 1.5 l/h 0.3m ml .....	57
6.1.1.2. PCJ autocompensante 4 (L/h) .....	59
6.1.1.3. Turbo Key (Plus).....	62
6.1.2. Microaspersores.....	63
6.1.2.1. GyroNet turbo 200 l/h (boquilla amarilla) .....	63
6.1.2.2. Mini Woobler (1/2") .....	65
6.1.2.3. SpinNet 70 l/h (boquilla negra 30 cm) .....	67
6.1.3. Aspersores. ....	69
6.1.3.1. MegaNet (naranja 650 l/h). ....	69
6.1.3.2. Naan Maestro (azul). ....	70
6.1.3.3. Naan 5022 (azul).....	72
6.2. Comparación entre emisores. ....	74
6.2.1. Goteros. ....	74
6.2.2. Microaspersores.....	75
6.2.3. Aspersores. ....	75
6.3. Resultados de la modelación en Epanet 2.0 de Coeficientes de descarga. ....	76

6.3.1. Caudal resultante de los microaspersores en Epanet. ....	76
6.3.2. Caudal resultante de los aspersores en Epanet. ....	77
6.4. Comparación entre el caudal de descarga real vs caudal medido con sensometría. ....	77
6.4.1. Goteros. ....	77
6.4.1.1. Tiran 16009 1.5 l/h 0.3m ml ....	77
6.4.1.2. PCJ autocompensante 4 (L/h) ....	79
6.4.1.3. Turbo Key (Plus). ....	80
6.4.2. Microaspersores. ....	81
6.4.2.1. GyroNet turbo 200 l/h (boquilla amarilla) ....	81
6.4.2.2. Mini Woobler (1/2") ....	82
6.4.2.3. SpinNet 70 l/h (boquilla negra 30 cm) ....	83
6.4.3. Aspersores. ....	84
6.4.3.1. MegaNet (naranja 650 l/h). ....	84
6.4.3.2. Naan Maestro (azul). ....	85
6.4.3.3. Naan 5022 (azul).....	86
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
7.1. Conclusiones.....	87
7.2. Recomendaciones. ....	88
BIBLIOGRAFÍA.....	89
8. ANEXOS .....	91

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Régimen hidráulico de los emisores de riego localizado. ....	9
Tabla 2.2 Exponentes de descarga de emisores.....	10
Tabla 2.3. Valores de las eficiencias de aplicación para sistemas de riego bien proyectado y mantenido. ....	12
Tabla 2.4. Rugosidad absoluta para diferentes materiales utilizados en la fabricación de tuberías. .....	19
Tabla 2.5. Coeficiente de perdidas menores en accesorios. ....	20
Tabla 4.1. Modelo y cantidad de aspersores usados en la investigación. ....	32
Tabla 4.2. Especificaciones técnicas del aspersor MegaNet.....	33
Tabla 4.3. Especificaciones técnicas del aspersor Naan Maestro.....	34
Tabla 4.4. Especificaciones técnicas del aspersor Naan 5022.....	35
Tabla 4.5. Modelo y cantidad de microaspersores usados en la investigación. (Caudal alto) .....	36
Tabla 4.6. Especificaciones técnicas del Microaspersor GyroNet turbo.....	36
Tabla 4.7. Especificaciones técnicas del Microaspersor mini Wobbler. ....	37
Tabla 4.8. Especificaciones técnicas del Microaspersor SpiNet.....	38
Tabla 4.9. Modelo y cantidad de goteros usados en la investigación.....	39
Tabla 4.10. Especificaciones técnicas del gotero Tiran 16009.....	39
Tabla 4.11. Especificaciones técnicas y características hidráulicas del gotero PCJ Autocomp. ....	40
Tabla 4.12. Especificaciones técnicas del gotero Turbo Key. ....	41
Tabla 4.13. Componentes de la red de riego analizada. ....	42
Tabla 4.14. Características de la bomba. ....	43
Tabla 4.15. Especificaciones técnicas de la bomba Caudal vs Potencia. ....	44
Tabla 4.16. Características del filtro.....	45

Tabla 4.17. Pérdidas localizadas por accesorios.....	46
Tabla 4.18. Características técnicas de manómetro.....	46
Tabla 4.19. Características del medidor de volumen.....	47
Tabla 4.20. Componentes del sistema de obtención de datos de campo.....	47
Tabla 6.1. Coeficientes de descarga Ke del gotero Tiran 16009.....	58
Tabla 6.2. Coeficientes de descarga Ke del gotero PCJ autocompensante.....	60
Tabla 6.3. Coeficientes de descarga Ke del gotero Turbo Key.....	62
Tabla 6.4. Coeficientes de descarga Ke del microaspersor GyroNet Turbo.....	64
Tabla 6.5. Coeficientes de descarga Ke del microaspersor Mini Woobler 1/2".....	66
Tabla 6.6. Coeficientes de descarga Ke del microaspersor SpinNet.....	67
Tabla 6.7. Coeficientes de descarga Ke del aspersor MegaNet.....	69
Tabla 6.8. Coeficientes de descarga Ke del aspersor Naan Maestro.....	71
Tabla 6.9. Coeficientes de descarga Ke del aspersor Naan 5022.....	73
Tabla 6.10. Comparación de caudales de descarga medido en campo y modelado en Epanet 2.0 de los microaspersores seleccionados.....	76
Tabla 6.11. Comparación de caudales de descarga medido en campo y modelado en Epanet 2.0 de los aspersores seleccionados.....	77
Tabla 6.12. Comparación entre caudal real y caudal medido con sensometría del gotero Tiran 16009.....	78
Tabla 6.13. Comparación entre caudal real y caudal medido con sensometría del gotero PCJ autocompensante.....	79
Tabla 6.14. Comparación entre caudal real y caudal medido con sensometría del gotero Turbo Key.....	80
Tabla 6.15. Comparación entre caudal real y caudal medido con sensometría del microaspersor GyroNet turbo.....	81

Tabla 6.16. Comparación entre caudal real y caudal medido con sensometría del microaspersor Mini Woobler.....	82
Tabla 6.17. Comparación entre caudal real y caudal medido con sensometría del microaspersor SpinNet.....	83
Tabla 6.18. Comparación entre caudal real y caudal medido con sensometría del aspersor MegaNet.....	84
Tabla 6.19. Comparación entre caudal real y caudal medido con sensometría del aspersor Naan Maestro.....	85
Tabla 6.20. Comparación entre caudal real y caudal medido con sensometría del aspersor MegaNet.....	86
Tabla A1. Diseño y análisis de la red para goteo y microaspersión (método del gradiente hidráulico).....	92
Tabla A2. Diseño y análisis de la red para aspersión (método del gradiente hidráulico).....	93

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Relación presión vs caudal de emisores. ....	11
Figura 2. Esquema de una red de riego por aspersión. ....	15
Figura 3. Esquema de una red de riego a goteo. ....	17
Figura 4. Aspersor de impacto y sus componentes. ....	21
Figura 5. Aspersor de turbina. ....	22
Figura 6. Difusores. ....	22
Figura 7. Microaspersor Amanco autocompensado. ....	23
Figura 8. Micro-aspersor GyroNet turbo. ....	24
Figura 9. Goteros interlinea y tubería. ....	24
Figura 10. Gotero Turbo Key Plus. ....	25
Figura 11. Gotero integrado. Ro-Drip. ....	25
Figura 12. Curva característica de un gotero autocompensante. ....	26
Figura 13. Curva característica de un gotero no autocompensante. ....	26
Figura 14. Ubicación del área de estudio. ....	28
Figura 15. Topografía de la zona de estudio, con línea de conducción y parcela. ....	30
Figura 16. Aspersor MegaNet (Naranja). ....	33
Figura 17. Aspersor Naan Maestro (Catalogo) ....	34
Figura 18. Aspersor Naan Maestro (Campo) ....	34
Figura 19. Aspersor Naan 5022 (Azul). ....	35
Figura 20. Microaspersor GyroNet turbo 200 l/h. ....	37
Figura 21. Microaspersor Mini-Wobbler ½". ....	37
Figura 22. Microaspersor SpiNet (negro) ....	38

Figura 23. Gotero Tiran 16009 1.5 L/h.....	39
Figura 24. Gotero PCJ Autocompensante (Gris) .....	40
Figura 25. Gotero Turbo Key (Plus). .....	41
Figura 26. Tanque de reserva horizontal de 0.5 m <sup>3</sup> .....	42
Figura 27. Tanques de reserva cónicos.....	43
Figura 28. Electrobomba Cpm 620.....	43
Figura 29. Curva de funcionamiento de Electrobomba Cpm 620 .....	44
Figura 30. Filtro “Y” de red inoxidable de 3/4 “.....	45
Figura 31. Curva de perdida de carga vs caudal del filtro “Y” de ¾.....	45
Figura 32. Válvula de corte.....	46
Figura 33. Manómetro con rango de.....	46
Figura 34. Medidor de agua MT-KD .....	47
Figura 35. Sistema electrónico de adquisición de datos .....	48
Figura 36. Topología de la red de estudio. ....	51
Figura 37. Instalación de la red de riego para toma de datos de campo. ....	51
Figura 38. Calibración del sistema electrónico de obtención de datos. ....	52
Figura 39. Toma de datos de campo en la parcela de estudio. ....	53
Figura 40. Red de análisis modelada con coeficientes calculados. ....	55
Figura 41. Toma de datos de caudal real descargado por emisores. ....	55
Figura 42. Comparación de caudales de descarga gotero Tiran 16009. ....	59
Figura 43. Comparación de curva características gotero Tiran (datos fábrica y campo) .....	59
Figura 44. Comparación de caudales de descarga del gotero PCJ autocompensante.....	61
Figura 45. Comparación de curva características gotero PCJ autocompensante (datos fábrica y campo) ....	61

Figura 46. Comparación de caudales de descarga de gotero Turbo Key. ....	63
Figura 47. Comparación de curva características gotero Turbo Key (datos fábrica y campo) .....	63
Figura 48. Comparación de caudales de descarga de microaspersor GyroNet Turbo. ....	64
Figura 49. Comparación de curva características microaspersor GyroNet Turbo (datos fábrica y campo) ...	65
Figura 50. Comparación de caudales de descarga de microaspersor Mini Woobler.....	66
Figura 51. Comparación de curva características microaspersor Mini Woobler (datos fábrica y campo) .....	67
Figura 52. Comparación de caudales de descarga de microaspersor SpinNet negro. ....	68
Figura 53. Comparación de curva características microaspersor SpinNet (datos fábrica y campo). ....	68
Figura 54. Comparación de caudales de descarga de aspersor MegaNet naranja. ....	70
Figura 55. Comparación de curva características aspersor MegaNet (datos fábrica y campo) .....	70
Figura 56. Comparación de caudales de descarga de aspersor Naan Maestro azul. ....	71
Figura 57. Comparación de curva características aspersor Naan Maestro (datos fábrica y campo) .....	72
Figura 58. Comparación de caudales de descarga de aspersor Naan 5022 azul. ....	73
Figura 59. Comparación de curva características aspersor Naan 5022 (datos fábrica y campo) .....	74
Figura 60. Comparación entre goteros según el porcentaje de variación de los coeficientes obtenidos en la presente investigación. ....	74
Figura 61. Comparación entre microaspersores según el porcentaje de variación de los coeficientes obtenidos en la presente investigación. ....	75
Figura 62. Comparación entre aspersores según el porcentaje de variación de los coeficientes obtenidos en la presente investigación. ....	76
Figura 63. Comparación de caudales (real vs sensores) gotero Tiran 16009 .....	78
Figura 64. Comparación de caudales (real vs sensores) gotero PCJ .....	79
Figura 65. Comparación de caudales (real vs sensores) gotero Turbo Key .....	80
Figura 66. Comparación de caudales (real vs sensores) microaspersor GyroNet .....	81



Figura 67. Comparación de caudales (real vs sensores) microaspersor Mini Woobler .....	82
Figura 68. Comparación de caudales (real vs sensores) microaspersor SpinNet .....	83
Figura 69. Comparación de caudales (real vs sensores) aspersor MegaNet .....	84
Figura 70. Comparación de caudales (real vs sensores) aspersor Naan Maestro .....	85
Figura 71. Comparación de caudales (real vs sensores) aspersor MegaNet .....	86
Figura 72. Modelación en Epanet 2.0 del coeficiente de descarga Ke obtenido para el microaspersor GyroNet turbo en el sistema a gravedad. ....	94
Figura 73. Modelación en Epanet 2.0 del coeficiente de descarga Ke obtenido para el microaspersor GyroNet turbo en el sistema a bombeo.....	95
Figura 74. Modelación en Epanet 2.0 del coeficiente de descarga Ke obtenido para el microaspersor Mini Woobler en el sistema a gravedad. ....	96
Figura 75. Modelación en Epanet 2.0 del coeficiente de descarga Ke obtenido para el microaspersor Mini Woobler en el sistema a bombeo. ....	97
Figura 76. Modelación en Epanet 2.0 del coeficiente de descarga Ke obtenido para el microaspersor SpinNet en el sistema a gravedad.....	98
Figura 77. Modelación en Epanet 2.0 del coeficiente de descarga Ke obtenido para el microaspersor SpinNet en el sistema a bombeo. ....	99
Figura 78. Modelación en Epanet 2.0 del coeficiente de descarga Ke obtenido para el aspersor MegaNet naranja en el sistema a bombeo. ....	100
Figura 79. Modelación en Epanet 2.0 del coeficiente de descarga Ke obtenido para el aspersor MegaNet naranja en el sistema a bombeo. ....	101
Figura 80. Modelación en Epanet 2.0 del coeficiente de descarga Ke obtenido para el aspersor Naan Maestro azul en el sistema a bombeo. ....	102
Figura 81. Modelación en Epanet 2.0 del coeficiente de descarga Ke obtenido para el aspersor Naan Maestro azul en el sistema a bombeo. ....	103
Figura 82. Modelación en Epanet 2.0 del coeficiente de descarga Ke obtenido para el aspersor Naan 5022 azul en el sistema a bombeo. ....	104

Figura 83. Modelación en Epanet 2.0 del coeficiente de descarga $K_e$ obtenido para el aspersor Naan 5022 azul en el sistema a bombeo. ....	105
---	-----

## RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto está destinado a la recolección, análisis e interpretación de datos de campo (presión y caudal) de varios tipos de emisores de riego (goteros, microaspersores y aspersores). Para conseguir este objetivo se cuenta con un sistema electrónico de recolección de datos, compuesto por: sensores de presión y caudal junto con un Data Logger y el software de registro de datos HOBOWare. Este sistema permite obtener resultados representativos y confiables.

Los datos recolectados permiten calcular el coeficiente de descarga  $K_e$  de los emisores, mismo que se usa para realizar un análisis comparativo de su comportamiento y desempeño, mediante hojas electrónicas de Microsoft Excel y el Software Epanet 2.0. Del análisis resulta información que permite comparar la variación que existe con respecto a las especificaciones de fábrica y finalmente brindar un criterio técnico de cada emisor, que sea útil y aplicable para posteriores trabajos de riego presurizado.

### **Palabras clave:**

Emisores (goteros, microaspersores, aspersores), coeficientes de descarga  $K_e$ , análisis comparativo.

## **ABSTRACT**

This project is intended for the collection, analysis and interpretation of field data (pressure and flow) for various types of irrigation emitters (drippers, micro-sprinklers and sprinklers). To achieve this goal an electronic data collection system, was installed that comprises: pressure and flow sensors in conjunction with a data logger and HOBOWare software, which register the information. This system allows to obtain representative and reliable results.

The collected data allows to calculate the discharge coefficient  $K_e$  of the emitters, which is used for a comparative analysis of their behavior and performance through Microsoft Excel spreadsheets and Epanet 2.0 Software. The analysis of the information permits to compare the variation that exists with respect to factory specifications and finally provide a technical criterion of each emitter, which is useful and applicable for future works of pressurized irrigation.

### **Keywords:**

Emitters (drippers, micro-sprinklers, sprinklers), discharge coefficients  $K_e$ , comparative analysis.

## INTRODUCCIÓN

Es importante obtener mayor información de los diferentes aspectos que conforman e influyen en los sistemas de riego eficientes. Para beneficiarnos de los mismos y aplicarlos de mejor manera en nuestro entorno, el presente proyecto está dirigido a los sistemas de riego a presión con emisores.

Los sistemas de riego que utilizan emisores como: goteros, aspersores o microaspersores; son sistemas presurizados. La cantidad de presión requerida en la red depende del tipo de emisor que se usa. Los sistemas de riego localizado y por aspersion tienen por objetivo fundamental aprovechar de manera eficiente el agua (Calvache M, 2010).

Un sistema de riego presurizado consta de una red de tuberías en la cual se colocan emisores que transmiten agua hacia el suelo mediante gotas o en forma de rocío. Así los emisores de riego son componentes fundamentales del sistema y su estructura puede ir desde diseños simples (de una sola pieza), hasta otros con un grado de complejidad alto (emisores con varias piezas ensambladas que trabajan conjuntamente como un solo equipo). Su función principal es regular y permitir la descarga de agua hacia el suelo de la parcela. Es importante conocer las características de descarga de caudal de cada emisor para realizar una correcta selección del mismo en función de los requerimientos de agua del cultivo (Liotta M, 2005).

Entre los principales emisores presentes en nuestro medio, destacan los: aspersores, microaspersores y goteros. Los aspersores están destinados a cubrir grandes diámetros de riego (de 20 m a 40 m) y trabajan con presión alta generalmente mayor a 20 metros de columna de agua (mca). Los microaspersores permiten la descarga de agua hacia el suelo en forma circular con diámetros de riego pequeños (de 3 m a 15 m). Ellos trabajan con presiones de 10 mca a 35 mca. Los goteros están destinados a aprovechar de manera más eficiente el agua en comparación con los aspersores y microaspersores, ya que requieren menor energía al trabajar con presiones bajas (de 4 mca a 25 mca), y mantienen la humedad óptima de la planta. Se los coloca preferiblemente lo más cerca posible a la raíz para aprovechar sus características de riego (Fernández R, 2010).

El coeficiente de descarga  $K_e$  se determina en función del caudal y la presión de trabajo del emisor. Su estudio es de vital importancia para realizar una correcta modelación y control de los sistemas de riego, ya que permite conocer el comportamiento hidráulico que tiene el emisor y la descarga que realiza bajo diferentes condiciones de presión. Eso se refleja en conocer la cantidad de agua que se entrega a la planta. Mediante esta información se adaptan los sistemas de riego según los requerimientos hídricos propios de cada cultivo. Para obtener productos agrícolas homogéneos y de mayor rendimiento, se debe aprovechar de manera eficiente los recursos hídricos disponibles (Muñoz R, 2004).

Para conseguir el objetivo de la presente investigación se desarrolla el siguiente proceso:

- Reconocimiento y levantamiento topográfico del terreno donde se ubica la parcela de estudio.
- Diseño del sistema de riego y definición del material a instalar.
- Instalación del sistema de riego con los emisores a evaluar.
- Calibración del equipo electrónico de recolección de datos de campo.
- Obtención de datos experimentales (análoga, sensometría).
- Cálculo y análisis de coeficientes de descarga  $K_e$  de los emisores seleccionados.
- Modelación de coeficientes de descarga  $K_e$  en la red de estudio mediante el software libre EPANET 2.0 v. E.
- Obtención del caudal real descargado por los emisores y comparación con el obtenido mediante sensometría.

## **CAPÍTULO I**

### **1. GENERALIDADES**

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo general.**

- Determinar el coeficiente de descarga  $K_e$  para los emisores de riego seleccionados.

### **1.1.2. Objetivos específicos.**

- Obtener el coeficiente  $K_e$  para aspersores, microaspersores y goteros.
- Establecer las curvas características de los emisores.
- Realizar un análisis comparativo entre los emisores mediante hojas electrónicas de Microsoft Excel y el Software Epanet 2.0

## **1.2. Antecedentes**

Un buen sistema de riego permite una mejor administración de los recursos hídricos disponibles en los diferentes sectores agrícolas y garantiza una mayor producción, mejora el desarrollo y economía de dichos sectores (ANEI AC, 1990).

Basándose en esta premisa, es de suma importancia realizar investigaciones enfocadas en el campo del riego eficiente, que permitan generar información que capacite a los usuarios en las características, funcionamiento y beneficios que proporcionan este tipo de riego. Para eso se implementan emisores en las zonas de riego con el objetivo de obtener cultivos de mayor calidad.

El Plan Nacional de Riego y Drenaje presentado por el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca del Ecuador (MAGAP), estima que hasta el año 2012 existían 942.000 hectáreas regadas y plantea como meta irrigar 1.5 millones de hectáreas, que beneficiará a 420 mil familias. Hasta el 2027, se prevé 1.6 millones de hectáreas con riego que favorecerá a 453 mil familias de agricultores (MAGAP, 2013).

El Ecuador es un país con varias zonas dedicadas a la agricultura aproximadamente 1.85 millones hectáreas de las cuales el 30 % debe ser irrigada debido a la escasez de lluvias (5.68 mil hectáreas). Del total de la superficie regada el 81 % (4.6 mil hectáreas) se encuentran bajo riego particular y el 19 % se riega con sistemas públicos (1.08 mil hectáreas). (Calvache, Calderón, Coello, & Pacheco, 2006).

Entre los sistemas de riego eficiente más usados en nuestra región tenemos: aspersión utilizada generalmente en zonas planas y de gran superficie destinada a la ganadería. Microaspersión generalmente usado en invernaderos destinados al cultivo de hortalizas y



flores. Goteros usados en sectores con laderas pronunciadas y destinado al cultivo de maíz, caña, etc. (Calvache M, 2010). La presente investigación está destinada a la obtención del coeficiente de descarga  $K_e$  de un grupo seleccionado de emisores presentes en estos sistemas de riego.

### **1.3. Justificación**

Los emisores son estructuras hidráulicas a través de las cuales, el agua sale de los sistemas de riego presurizado hacia el ambiente. Su estudio es importante ya que permite conocer acerca de su comportamiento hidráulico y realizar los ajustes necesarios (aumento o disminución de la presión de trabajo en la red de riego) en la operación del sistema de acuerdo a las necesidades de caudal requeridas. La evaluación del comportamiento hidráulico determina la relación presión-caudal de los emisores.

En la actualidad existen, una extensa gama de emisores (goteros, aspersores, microaspersores, etc.) fabricados e importados al país. Con este antecedente es necesario realizar la evaluación de la calidad y su comportamiento hidráulico, como también constatar que el emisor posea las características, que se precisa para cada caso concreto.

Dentro de este marco, se plantea el tema de investigación en donde a través de la recolección y análisis de datos obtenidos mediante sensores digitales, determinaremos las características hidráulicas de varios tipos de aspersores, microaspersores y goteros.

### **1.4. Limitaciones.**

La presente investigación está enfocada en algunos tipos de aspersores, microaspersores y goteros que se comercializan en la ciudad de Loja. Los emisores que se usan para desarrollar el estudio, trabajan en sistemas de riego presurizado y el rango de presión en metros de columna de agua (mca) que se usa para cada tipo es el siguiente: aspersores (25 mca a 35 mca), debido a los requerimientos de alta presión de estos emisores, se los analiza en un sistema de riego presurizado mediante bombeo. Microaspersores (13 mca a 38 mca), para el caso de los microaspersores se analizan en dos sistemas de riego diferentes, un sistema de baja presión, que gana presión debido al desnivel del terreno y otro sistema de alta presión en que la presión proviene de un sistema de bombeo. Goteros (10 mca a 14 mca), estos emisores son analizados en el sistema de baja presión.

## **CAPÍTULO II**

### **2. MARCO TEÓRICO**

## 2.1. Estado del arte

### 2.1.1. Coeficiente de descarga $K_e$ de emisores.

El coeficiente característico de descarga ( $K_e$ ) de cada emisor es una parte fundamental en el diseño o evaluación de una red de riego, ya que conocer sus características hidráulicas, permite reajustar la operación del sistema para satisfacer las necesidades propias de cada cultivo y garantizar mayor eficiencia en dicho sistema. El comportamiento hidráulico de un emisor, se puede expresar como una ecuación de tipo potencial, denominada “ecuación característica” o “ecuación de descarga” (Keller & Karmeli, 1974).

$$Q = K_e \times P^x \quad \text{Ecuación 2.1}$$

Dónde:

- $Q$  - Caudal de descarga del emisor, en l/h.
- $K_e$  - Coeficiente de descarga del emisor  $K_e$ , adimensional.
- $P$  - Presión hidráulica de entrada del agua en el emisor, en mca o KPa.
- $x$  - Exponente de descarga, adimensional.

El exponente de descarga ( $x$ ) está en función del régimen hidráulico de cada emisor, tal como se puede apreciar en la tabla 2.1. Cuando el exponente es cercano a 0.5 las partículas se mueven en desorden y generalmente esto se presenta cuando un fluido sale por un emisor a gran velocidad. Un exponente entre 0.5 y 0.7 refleja que el fluido tiende a ser turbulento pero no en gran intensidad y su velocidad es menor al flujo turbulento. El flujo inestable o crítico expresa que el fluido se encuentra en un régimen de cambio entre el flujo laminar y el flujo turbulento. EL flujo laminar es el que generalmente se presenta en emisores de baja presión como los goteros y se caracteriza por que la velocidad del fluido es baja y sus moléculas se mueven de manera ordenada en un mismo sentido.

Tabla 2.1 Régimen hidráulico de los emisores de riego localizado.

Valor del exponente	Tipo de flujo
$x = 0.5$	Completamente turbulento
$0.5 < x < 0.7$	Parcialmente turbulento
$0.7 < x < 0.1$	Inestable o crítico
$X = 1.0$	Laminar

Fuente. Keller & Karmeli, 1974  
Elaboración. El autor, 2015.

La investigación de los parámetros de diseño del riego por goteo realizada por Keller & Karmeli (1974) en la que se analiza la ecuación característica de un emisor y su coeficiente de descarga, es de gran importancia para el posterior estudio de este coeficiente. Al continuar con esta investigación López, Hernández, Pérez & Gonzáles (1992) manifiestan que el caudal que el caudal descargado por un emisor depende de la presión con la que está trabajando el mismo y de su coeficiente y exponente de descarga.

En años posteriores se realizó un análisis más profundo del exponente de descarga de emisores, propuestos por Keller y Karmeli (1974), que proporciona información más detallada del exponente en función del tipo de emisor a usar. El exponente de descarga (x) también está en función de la sensibilidad de los emisores a la variación de presión (Pizarro, 1990).

En la tabla 2.2 se aprecia que cuando el exponente de descarga se acerca a 1 el flujo de salida del emisor es laminar y esto se presenta generalmente en goteros, y emisores que trabajan con baja presión y la velocidad del flujo es baja. Los emisores cuyos componentes de salida están compuestos por microtubos o son de tipo helicoidal, presentan un régimen de transición de turbulento a laminar y la velocidad del flujo es media. Los emisores que tienen componentes de salida tipo vortex permiten que la presión de trabajo se reduzca y estabilice lo que provoca una descarga con caudal velocidad constante. Los emisores autocompensados tienen un componente que regula su presión de trabajo y la mantiene constante aunque existan variaciones en el sistema, por lo que su exponente de descarga es cero y no afecta a su ecuación característica.

Tabla 2.2 Exponentes de descarga de emisores.

<b>Emisor</b>	<b>X</b>
De régimen laminar	1
Microtubos	1 – 0.75
Helicoidal	0.75 – 0.65
De régimen turbulento (orificios, de laberinto)	0.5
Vortex	0.4
Autocompensante	0 – 0.4
Teórico perfectamente autocompensante	0

Fuente. Riego Localizado de Alta de Frecuencia, Pizarro 1990.  
Elaboración. El autor, 2015.

Los valores de (Ke) y (x) son propios de cada tipo de emisor, y deben ser brindados por el fabricante, o en su defecto proporcionar la curva caudal-presión (Pizarro, 1990).

La figura 1 muestra la representación gráfica de la relación presión vs caudal de cada emisor permite conocer su comportamiento frente a diferentes factores que puedan influir en su funcionamiento. En el régimen laminar la curva característica del emisor presenta un aumento casi lineal entre la presión y el caudal generalmente esto se aprecia en los goteros integrados y cintas de riego debido a que utilizan poca energía y la velocidad de salida del fluido es baja. El régimen turbulento presenta una curva parabólica y generalmente dentro de este régimen trabajan los aspersores y microaspersores ya que utilizan mayor energía para su funcionamiento y la velocidad de salida del flujo es alta. Los emisores autocompensados presentan como curva característica una línea horizontal debido a que emiten un caudal constante aunque existan variaciones de presión en el sistema.

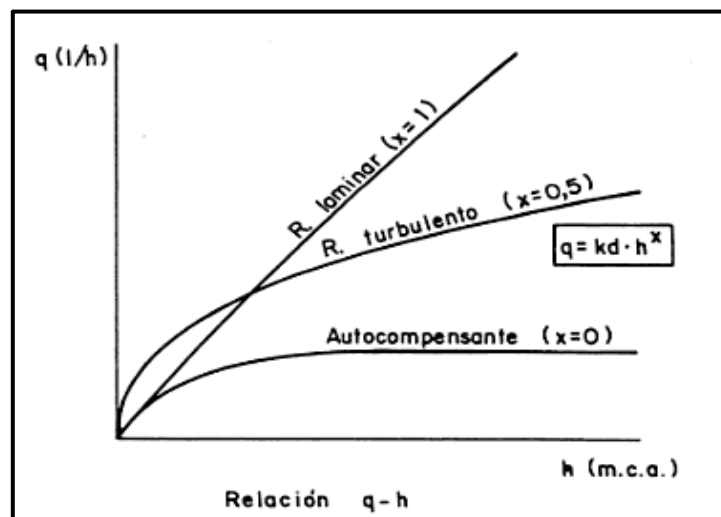


Figura 1. Relación presión vs caudal de emisores.  
 Fuente. Hidráulica aplicada a proyectos de riego. (Martínez, 1993).  
 Elaboración. El autor, 2015.

## 2.2. Base teórica hidráulica

### 2.2.1. Sistemas de riego

Son redes constituidas por varios elementos y/o materiales, que tienen como función principal, captar, regular, transportar y abastecer de agua a determinadas zonas (ANEI, 1990). En la actualidad debido a la necesidad de mejorar la gestión de los recursos hídricos, la mayor parte del sector agrícola opta por usar sistemas de riego presurizado, debido a los beneficios en cuanto a la eficiencia que ofrecen como se puede observar en la tabla 2.3

Tabla 2.3. Valores de las eficiencias de aplicación para sistemas de riego bien proyectado y mantenido.

<b>Sistemas de riego</b>	<b>Eficiencias (%)</b>
<b>Riego por gravedad con nivelado de precisión</b>	
Surcos.	65 – 85
Fajas.	70 – 85
Canteros.	70 – 90
<b>Riego por gravedad tradicional</b>	
Surcos.	40 – 70
Fajas.	45 – 70
Canteros.	45 – 70
<b>Riego de arroz, canteros en inundación permanente</b>	25 – 70
<b>Riego por aspersión</b>	
Sistemas estacionarios de cobertura total.	65 – 85
Sistemas estacionarios desplazables manualmente.	65 – 80
Laterales con ruedas.	65 – 80
Cañón con enrollador o con cable.	55 – 70
Laterales móviles, con pivote central.	65 – 85
<b>Micro-riego (riego localizado)</b>	
Goteros, ≈ 3 emisores por planta (frutales).	85 – 95
Goteros, < 3 emisores por planta.	80 – 90
Micro-aspersores y “difusores” (frutales).	85 – 95
Línea continua de emisores gota-a-gota.	70 – 90

Fuente. El riego y sus tecnologías, (Pereira, Juan Valero, Picornell, & Tarjuelo. 2010)  
Elaboración. El autor, 2015.

Los sistemas de riego que cuentan con buena estructura y correcta planificación son muy pocos, ya que la mayor parte de riego se la realizada por la modalidad de surcos. Esto trae como consecuencia un bajo índice de eficiencia en el uso del agua que va desde un 15 % hasta un 50 % (Calvache et al, 2006).

### **2.2.2. Sistemas de riego a presión**

Su principio de funcionamiento se basa en transportar agua desde un embalse o depósito a través de tuberías presurizadas que la llevan hacia las zonas de cultivo. El agua se entrega mediante emisores que permiten brindar la cantidad necesaria que requiere el cultivo y garantiza una mayor eficiencia en el manejo de los recursos hídricos. La presurización en el sistema se puede conseguir mediante elementos mecánicos como son las bombas (eléctricas, mecánicas, etc.), que mediante la succión generada por un motor absorben el agua desde un depósito, le transmiten energía mediante el movimiento y la envían al sistema de tuberías, generando un sistema presurizado. También se obtiene presión en un sistema al usar el desnivel propio del terreno, ganado mayor cantidad de carga de presión mientras mayor sea el desnivel entre el depósito y la salida del emisor (ANEI, 1990).

### **2.2.2.1. Componentes de una red de riego presurizado.**

Los componentes que se encuentran dentro de una red de riego dependen de varios aspectos como: el tipo de sistema de riego, los requerimientos de presión, la calidad de agua, la superficie de riego, la topografía del lugar donde se implantara. Generalmente destacan dos tipos de componentes, los hidráulicos y los no hidráulicos (ANEI, 1990).

- **Componentes hidráulicos.**

Estos son los componentes que conforman el sistema de riego y la unión de todos permite el correcto funcionamiento del mismo (ANEI, 1990). Entre ellos tenemos:

- Embalse o depósito.
- Estación de bombeo.
- Red de tuberías.
- Emisores.
- Accesorios.

- **Componentes no hidráulicos.**

Es el entorno del sistema de riego es decir la zona a la cual va a servir el sistema de riego y es de gran importancia al momento del diseño del mismo (ANEI, 1990). Entre los principales tenemos:

- Área de riego
- Tipo de cultivo
- Red de caminos, con las necesarias obras para el cruce de los canales
- Red de abastecimiento de energía eléctrica
- Viviendas

### **2.2.2.2. Tipos de sistemas de riego a presión**

Podemos destacar dos tipos, los cuales están en función de su presión de trabajo, y son: de baja presión y de alta presión (ANEI, 1990).

- **Sistemas de riego a baja presión**

Se caracterizan porque la presión de agua que se requiere para su funcionamiento es baja en comparación con el sistema a alta presión. En estos sistemas se encuentran presentes los goteros, cintas de riego y microaspersores (ANEI, 1990).

- **Sistemas de riego a alta presión**

Este tipo de riego requiere de una presión de trabajo mayor por los requerimientos de presión propios de los emisores y el caudal de descarga es mayor que los de baja presión. Los emisores usados en este sistema son aspersores (ANEI, 1990).

### **2.2.3. Sistemas de riego por aspersión**

Este método consiste en emular la caída de una pequeña llovizna sobre los cultivos, lo cual requiere una mayor presión de funcionamiento, dado que sus emisores trabajan con un rango de presiones mucho mayor al de emisores usados en los sistemas de microaspersión y goteo (Elriego.com, 2012)

Es una técnica que tiene sus orígenes en el siglo XX principalmente usada en céspedes ornamentales, posteriormente en la década de los años 1930. Por a la creación de aspersores de alto impacto y tuberías de acero ligeras de fácil unión, esta técnica de riego comenzó a aplicarse a varios tipos de cultivos y extenderlo por todo el mundo. Esta técnica ocupa cerca del 10 % de las áreas de riego en todo el mundo (Pereira, Juan Valero, Picornell, & Tarjuelo, 2010).

Con el pasar de los años y el avance tecnológico, el sistema ha evolucionado y mejorado, convirtiéndose en un método más complejo. Sus componentes son: (Elriego.com, 2012).

- **Sistema de Bombeo.-** Cuenta con una bomba que tiene la función de impulsar el líquido desde donde se encuentra almacenado hacia la red de tuberías con la presión necesaria debe compensar las pérdidas de presión y permitir el funcionamiento de los aspersores de forma eficiente.
- **Tuberías.-** Aquí generalmente encontramos dos tipos de tuberías. Las principales son las encargadas para transportar el líquido desde el sistema de bombeo a la zona de riego. En las tuberías secundarias se encuentran instalados los aspersores y funcionan como base para los mismos.
- **Accesorios.-** Dentro de este grupo tenemos uniones, válvulas de regulación de presión y de caudal, que facilitan la implantación y administración del sistema.
- **Aspersores.-** Su función es descargar el agua sobre el cultivo en forma de pequeñas gotas, similares a una leve pero constante lluvia.



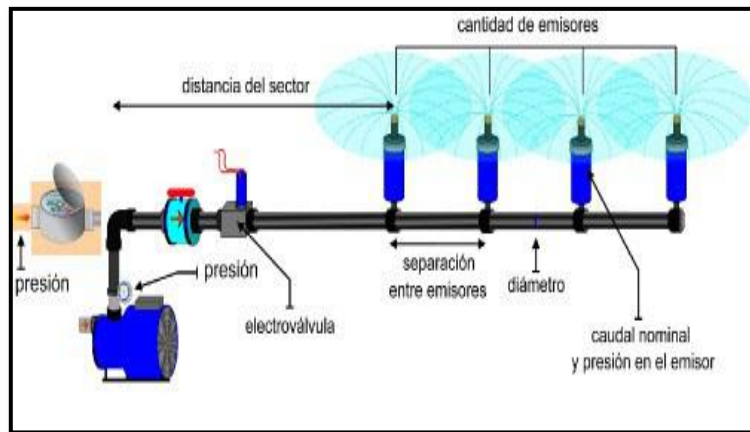


Figura 2. Esquema de una red de riego por aspersión.  
Fuente. Riego en 3 pasos guía práctica. (Lotus Mallorca, S.L., 2013)  
Elaboración. El autor, 2015.

## 2.2.4. Sistemas de riego localizado

Está destinado a satisfacer las necesidades de agua del cultivo, aprovechar al máximo los recursos hidráulicos, reducir sus pérdidas al mínimo y generar una alta eficiencia. Su principio de funcionamiento se basa en descargar el agua sobre una zona determinada del suelo y no en la totalidad del mismo. Para esto se utiliza emisores que brindan pequeñas cantidades de agua sobre la raíz del cultivo de manera constante. Cabe recalcar que la presión en la salida del emisor por lo general es baja (Fernández R, 2010).

En el riego localizado se destacan el riego por microaspersión y/o goteo. Estos dos tipos de riego se diferencian por su forma de descargar el agua sobre el suelo y por la cantidad de caudal que emiten.

### 2.2.4.1. Riego por microaspersión

Este método permite suministrar el riego mediante gotas muy finas hacia el cultivo. Su funcionamiento es similar al riego por aspersión; su diferencia radica en la presión y el caudal de descarga requeridos en cada sistema. Los microaspersores cuentan con un radio de cobertura no mayor a 3 metros (Hydroenvironment, 2015)

Este sistema de riego nació en Israel por la necesidad de transmitir el riego al cultivo con una intensidad no mayor a la velocidad de filtración del agua en el suelo. Es muy utilizado en el cultivo de hortalizas, fruticultura y flores. Dentro de invernaderos y en suelos que presentan una textura arenosa en los cuales es difícil formar el bulbo húmedo requerido por el cultivo. También para el control de temperatura mediante el rocío de agua sobre el cultivo (Hydroenvironment, 2015)

Sus componentes son similares al riego por aspersión, con la diferencia que la separación entre los emisores es menor. Generalmente cuenta con un sistema de filtros, tamices, para remover impurezas del agua que puedan obstruir los emisores.

#### **2.2.4.2. Riego por goteo**

Se origina en Alemania en 1860 con el uso de tuberías compuestas de arcilla. En 1959 se lanza el primer sistema experimental creado por Netafim, y en 1966 se patenta el primer gotero israelí. A finales del año 1960 este sistema se popularizó en Australia, América del Norte y América del Sur (Payán S, 2009).

Presenta mayor eficiencia en el aprovechamiento de agua que el sistema por aspersión y microaspersión, y es uno de los más usados a nivel mundial (Fernández R, 2010).

Los componentes presentes en este tipo de riego son: (Fernández R, 2010).

- **La fuente de abastecimiento.-** Constituye el punto de alimentación del sistema; puede ser un depósito, una toma de hidrante, una red colectiva mayor, o la salida de una bomba previamente conectada a un depósito o reservorio.
- **Cabezal principal.-** Se encuentra ubicado a continuación de la fuente de abastecimiento. En él se encuentran varios elementos como: válvulas reguladoras de presión y/o caudal, filtros y sistemas de fertilización. Estos elementos tienen la función de controlar la calidad y cantidad de agua que ingresa al sistema, también para permitir la inclusión de fertilizantes en el agua de riego.
- **Tuberías de conducción principal y secundaria.-** Son las encargadas de trasladar el agua desde el cabezal principal hacia las diferentes zonas de riego.
- **Tuberías terciarias.-** En ellas se instalan los goteros o cintas de riego. Generalmente están en la superficie y son de diámetro menor a las principales y secundarias.
- **Goteros o cintas de riego.-** Son los encargados de transmitir el agua desde la tubería hacia el suelo. Cada tipo de gotero tiene características hidráulicas propias.

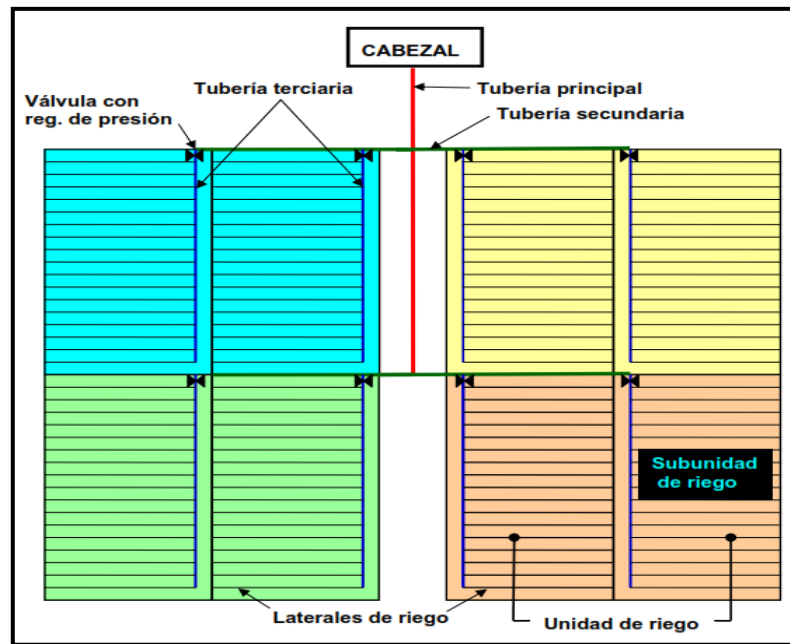


Figura 3. Esquema de una red de riego a goteo.  
 Fuente. Los sistemas de riego por goteo y micro-aspersión. (Liotta, 2005)  
 Elaboración. El autor, 2015.

### 2.2.5. Pérdidas de carga en sistemas de riego.

Su análisis es fundamental en el diseño y análisis de un sistema de riego, porque influye directamente en su presión de trabajo. Las pérdidas de carga que se generan son de dos tipos: continuas y localizadas (Turégano J, 2014).

#### 2.2.5.1. Pérdidas continuas.

Representan la pérdida de carga por rozamiento que se da a lo largo de la red de tuberías. Existen varios métodos para calcular estas pérdidas. Uno de los métodos más usados es la ecuación de Darcy-Weisbach, expresada de la siguiente manera:

$$J = f \times \frac{1}{D} \times \frac{V^2}{2 \times g} \quad \text{Ecuación 2.2}$$

$$h_r = J \times L = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2 \times g} \quad \text{Ecuación 2.3}$$

Dónde:

- $f$  - Factor de fricción adimensional.
- $J$  - Pérdidas de carga unitarias, en m/m
- $h_r$  - Pérdidas de carga continuas o por rozamiento, en m.

- L - Longitud de la conducción, en m.
- V - Velocidad del agua, en m/s.
- g - Aceleración de la gravedad, generalmente se adopta 9.81 m/s<sup>2</sup>.

El factor de fricción es un elemento fundamental en la pérdida de carga. Se expresa en función del número de Reynolds, la rugosidad del material y el diámetro de la tubería (Turégano J, 2014).

Para el cálculo del número de Reynolds se puede aplicar la siguiente ecuación:

$$\text{Re} = \frac{V \times D}{\nu} \quad \text{Ecuación 2.4}$$

Dónde:

- V - Velocidad del agua, en m/s
- D - Diámetro interior de la conducción, en m
- $\nu$  - Viscosidad cinemática, en m<sup>2</sup>/s, depende de la temperatura del agua.

- **Cálculo del factor de fricción en régimen turbulento.**

Para este tipo de régimen se usa la ecuación de Colebrook-White (Colebrook, 1939), la cual se expresa de la siguiente manera:

$$f = \frac{0.25}{\left(\log\left(\frac{K_s}{3.7 \times D} + \frac{5.74}{\text{Re}^{0.9}}\right)\right)^2} \quad \text{Ecuación 2.5}$$

Dónde:

- Ks - Rugosidad absoluta del material, mm
- D - Diámetro interior de la conducción, en m
- Re - Número de Reynolds, adimensional.

Tabla 2.4. Rugosidad absoluta para diferentes materiales utilizados en la fabricación de tuberías.

Material	Ks (mm)
Vidrio	0.0003
PVC, CPVC	0.0015
Asbesto cemento	0.03
GRP	0.03
Acero	0.046
Hierro Forjado	0.06
CCP	0.12
Hierro fundido asfaltado	0.12
Hierro galvanizado	0.15
Arcilla vitrificada	0.15
Hierro fundido	0.15
Hierro dúctil	0.25
Madera cepillada	0.18 – 0.9
Concreto	0.3 – 3.0
Acero bridado	0.9 – 9

Fuente. Hidráulica de tuberías. (Saldarriaga, 2007)  
Elaboración. El autor, 2015.

### 2.2.5.2. Pérdidas Localizadas.

Este tipo de pérdidas se generan debido a los accesorios (codos, uniones, válvulas, etc.), presentes en la red de riego. No obstante, los accesorios son importantes porque despreciar estas pérdidas lleva a grandes variaciones en el diseño y análisis de las redes de riego.

Las pérdidas localizadas pueden ser determinadas mediante fórmulas empíricas o el método del coeficiente de resistencia. (Turégano J, 2014).

- **Coeficiente de resistencia.**

Este método se basa en el término cinético de la ecuación de Bernoulli, combinándolo con el coeficiente de resistencia  $K_m$  (Turégano J, 2014). Su expresión es la siguiente:

$$h_s = K_m \times \frac{v^2}{2 \times g} \quad \text{Ecuación 2.6}$$

Dónde:

- $h_s$  - Pérdidas localizadas, en m
- $K_m$  - Coeficiente de pérdidas menores, adimensional.
- $V$  - Velocidad del fluido, en m/s
- $g$  - Aceleración de la gravedad, generalmente se adopta  $9.81 \text{ m/s}^2$ .

Tabla 2.5. Coeficiente de pérdidas menores en accesorios.

Accesorio	$K_m$
Válvula de globo, completamente abierta	10.0
Válvula en ángulo, completamente abierta	5.0
Válvula de cheque, completamente abierta	2.5
Válvula de compuerta, completamente abierta	0.2
Válvula de compuerta, con $\frac{3}{4}$ de apertura	1.00 – 1.15
Válvula de compuerta, con $\frac{1}{2}$ de apertura	5.6
Válvula de compuerta, con $\frac{1}{4}$ de apertura	24.0
Codo de radio corto ( $r/d \pm 5 \text{ a } 1$ )	0.9
Codo de radio mediano	0.75 – 0.80
Codo de gran radio ( $r/d \pm 5 \text{ a } 1.5$ )	0.6
Codo de 45°	0.4 – 0.42
Retorno (curva en U)	2.2
Tee en sentido recto	0.3
Tee a través de la salida lateral	1.8
Unión	0.3
Ye de 45°, en sentido recto	0.3
Ye de 45°, salida lateral	0.8
Entrada recta a tope	0.5
Entrada con boca acampanada	0.1
Entrada con tubo reentrante	0.9
Salida	1.0

Fuente. Hidráulica de tuberías. (Saldarriaga, 2007)

Elaboración. El autor, 2015.

### 2.2.6. Características hidráulicas de los emisores.

Cada emisor presenta propiedades de funcionamiento únicas en su tipo, que permiten determinar la factibilidad de uso del emisor. Según los requerimientos del sistema de riego están dadas por el fabricante, incluyendo sus rangos de trabajo que permiten tener una idea de su desempeño en funcionamiento. Dentro de las características hidráulicas del emisor tenemos las siguientes: (Fernández R, 2010).

- **Presión nominal.**- Representa la presión para la cual el emisor está diseñado. Es el valor óptimo de trabajo del emisor.
- **Caudal nominal.**- Representa el caudal que el emisor proporciona al trabajar a presión nominal.
- **Coeficiente de variación de fabricación.**- Indica la variación existente entre dos emisores del mismo tipo, debido al proceso de fabricación.
- **Pérdida de carga en la conexión.**- Representa la pérdida de carga que se produce en el sistema debido al funcionamiento del emisor.
- **Curva de gasto.**- Es una representación gráfica del caudal operando con diferentes presiones, la cual entregará el emisor.

## 2.2.7. Tipos de emisores de riego.

Existen varios tipos de emisores de riego, con características propias y aptas para diferentes áreas de aplicación para satisfacer los requerimientos del sistema de riego y del cultivo. Entre los principales tenemos: aspersores, microaspersores y goteros.

### 2.2.7.1. Aspersores.

Son dispositivos de tipo mecánico que tienen la función de realizar la descarga de agua desde la red presurizada hacia el ambiente en forma de pequeñas gotas que simulan la lluvia sobre el cultivo. Estos emisores requieren mayor presión para su funcionamiento y descargan mayor caudal. Su cobertura de riego es muy alta por lo que son de gran utilidad para cubrir grandes superficies de riego con pocos emisores (MSSI, 2012).

- **Tipos de aspersores.**

Existen muchos tipos de aspersores dentro del mercado actual. Se los puede agrupar por la características propias como: movilidad, tipo de descarga, número de boquillas, etc. Para una mejor comprensión de los mismos se los divide en tres grupos principales: de impacto, de turbina y difusores (MSSI, 2012).

- **Aspersores de impacto.**

Se caracterizan por el impacto que produce el agua al salir del aspersor sobre la base fija del mismo. Esto permite que los equipos giren sobre su eje y realicen una descarga continua a través de una trayectoria predeterminada (MSSI, 2012).

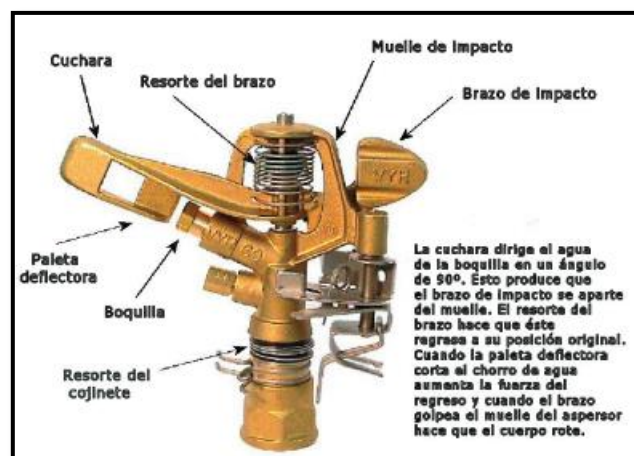


Figura 4. Aspersor de impacto y sus componentes.  
Fuente. Riego por aspersión en el medio urbano. (MSSI, 2012).  
Elaboración. El autor, 2015.

- **Aspersores de turbina.**

A este grupo pertenecen los aspersores que cuentan con una turbina que permite incrementar el alcance de la descarga de agua y también el desplazamiento del chorro a lo largo de una trayectoria establecida (MSSI, 2012).



Figura 5. Aspersor de turbina.  
Fuente. Riego por aspersión en el medio urbano. (MSSI, 2012).  
Elaboración. El autor, 2015.

- **Difusores.**

Se diferencian de los aspersores porque no realizan un movimiento alrededor de su eje y su composición es más simple. Estos equipos permiten realizar la descarga sobre un sector concreto y fijo del suelo (MSSI, 2012).



Figura 6. Difusores.  
Fuente. Riego por aspersión en el medio urbano. (MSSI, 2012).  
Elaboración. El autor, 2015.



### 2.2.7.2. *Microaspersores.*

Son característicos de sistemas de riego localizado. Su funcionamiento es similar al de los aspersores pero con menor rango de presión y caudal de descarga. Su instalación y manejo es muy sencillo. Dentro de los microaspersores tenemos: microaspersores autocompensados y no autocompensados (Hydroenvironment, 2015).

- **Microaspersores autocompensados.**

Tienen entre sus componentes un regulador que le permite entregar un caudal constante aunque existan variaciones de presión. Esto garantiza un sistema eficiente y evita el exceso de caudal en casos de sobrepresión (Elriego.com, 2012).



Figura 7. Microaspersor Amanco autocompensado.  
Fuente. Plastigama. Catálogo de micro-aspersión. 2012  
Elaboración. El autor, 2015.

- **Microaspersores no compensados.**

Poseen un rango de presiones y caudales de trabajo, es decir si la presión que actúa sobre el emisor aumenta el caudal de descarga aumentará. La curva característica de presión vs caudal de estos emisores permite al diseñador suponer el comportamiento que tendrá ante posibles variaciones de presión que puedan darse en el sistema de riego (Elriego.com, 2012).

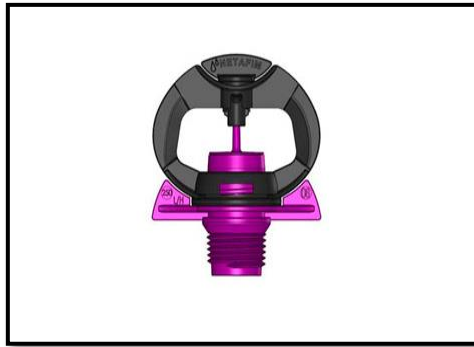


Figura 8. Micro-aspersor GyroNet turbo.  
Fuente. El autor.  
Elaboración. El autor, 2015.

### 2.2.7.3. Goteros.

Los goteros y las cintas de riego son considerados emisores de bajo caudal. Generalmente emiten un caudal de hasta 16 l/h, requieren poca energía y presión para su funcionamiento lo que los vuelve muy eficientes. Estos equipos transmiten el agua hacia la atmósfera con baja presión y velocidad. Según la forma en que se ubiquen los goteros sobre los laterales de riego estos se pueden clasificar en: interlineados o insertados, pinchados e integrados (Fernández R, 2010).

- **Goteros interlineados o insertados.**

Están insertados dentro de la tubería. Para su instalación se requiere cortar la tubería y empalmarla por ambos lados del gotero. Estos goteros cuentan con un sistema de laberinto en sus paredes para reducir la presión de salida del agua (Fernández R, 2010).



Figura 9. Goteros interlinea y tubería.  
Fuente. (Fernández R, 2010).  
Elaboración. El autor, 2015.

- **Goteros pinchados.**

Se colocan directamente sobre un orificio previamente perforado en la tubería. La ventaja de este tipo de goteros es que se los puede colocar a la distancia que se considere necesaria en función del tipo de cultivo (Fernández R, 2010).



Figura 10. Gotero Turbo Key Plus.

Fuente. El autor.

Elaboración. El autor, 2015.

- **Goteros integrados.**

También conocidos como cintas de riego, su principal característica es que se encuentran integrados dentro de la tubería desde su fabricación, y poseen una separación fija entre ellos, (Fernández R, 2010).

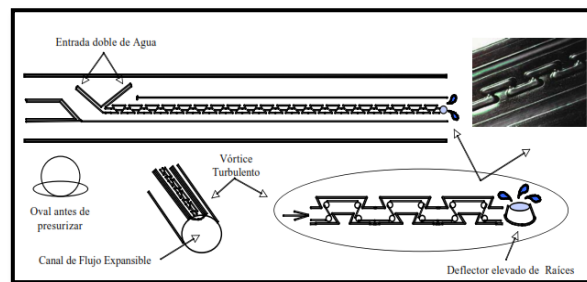


Figura 11. Gotero integrado. Ro-Drip.

Fuente. Plastigama. Catálogo de la línea de goteo. 2012

Elaboración. El autor, 2015.

Los goteros también pueden clasificarse en autocompensantes y no autocompensantes.

- **Goteros autocompensantes.**

Su característica es la entregan de un caudal constante aunque exista variación en la presión que actúa sobre el mismo. Su curva característica presenta una línea con tendencia recta cuando trabaja dentro del rango de presiones trabajo (Fernández R, 2010).

En la figura 12 se aprecia que el rango de trabajo de este gotero es de 6.5 mca a 28 mca ya que su curva característica se presenta como una line horizontal descargando un caudal constante, dentro de este rango.

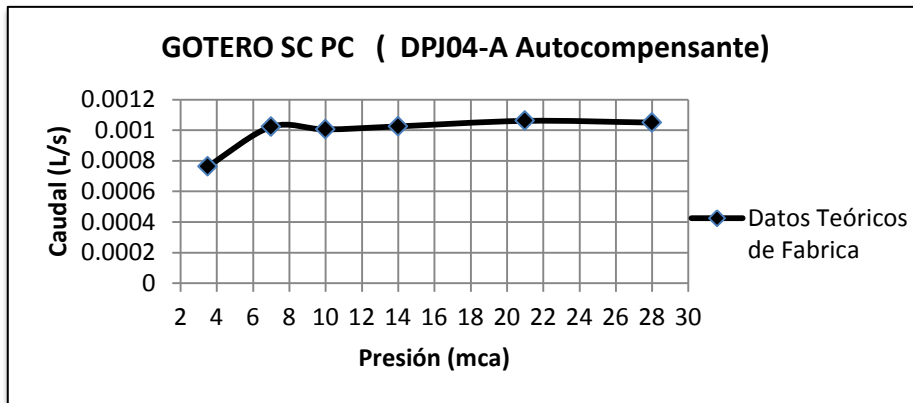


Figura 12. Curva característica de un gotero autocompensante.  
Fuente. El autor.  
Elaboración. El autor, 2015.

- **Goteros no autocompensantes.**

Se caracterizan por presentar varias presiones y caudales nominales que permiten graficar su curva característica y predecir su comportamiento en diferentes rangos de presiones. Estos goteros tienen un comportamiento en el cual a mayor presión mayor será la descarga de caudal (Fernández R, 2010).

La figura 13 muestra la curva característica de un gotero Tiran. Su incremento es casi lineal ya que se encuentra trabajando en un régimen cercano al laminar y su exponente de descarga se aproxima a 1.

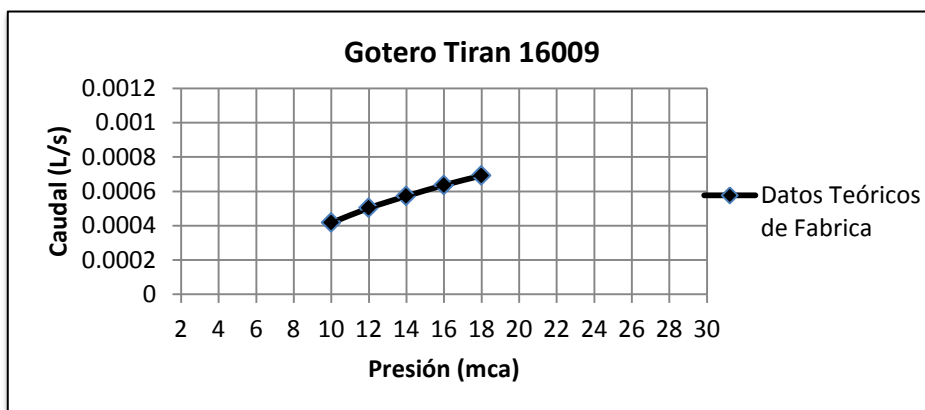


Figura 13. Curva característica de un gotero no autocompensante.  
Fuente. El autor.  
Elaboración. El autor, 2015.

## **CAPÍTULO III**

### **3. ÁREA DE ESTUDIO**

### 3.1. Ubicación de la zona de estudio.

La parcela de estudio en la cual se realiza la recolección de datos de campo se localiza en la ciudad de Loja, en el barrio de Zamora Huayco en las siguientes coordenadas.

- 9557387 N
- 701942 E
- 2150 msnm



Figura 14. Ubicación del área de estudio.  
Fuente. Datos de Loja. (Villavicencio J, 2014).  
Elaboración. El autor, 2015.

### 3.2. Características de la zona de estudio.

#### 3.2.1. Clima.

Loja presenta un clima templado-ecuatorial sub-húmedo. La temperatura media del aire es de 17 °C. La oscilación anual de la temperatura es de 1.5 °C, los meses de menos temperatura fluctúan entre junio y septiembre y los de mayor temperatura entre septiembre y diciembre. Loja tiene dos estaciones anuales marcadas invierno y verano, debido a sus fuertes relieves y marcadas zonas de elevaciones y valles, se presentan sectores con zonas de gran humedad con la presencia de lluvias durante la gran parte del año (Villavicencio J, 2014).

### **3.2.2. Recursos hídricos.**

La parcela de estudio cuenta con dos depósitos que almacenan el agua para realizar el riego cuando existan escases de agua, o en el caso del presente proyecto para ser usados como embalses que permiten mantener un nivel de agua constante. Estos depósitos son abastecidos por un sistema de agua externo proveniente de la red de agua entubada del barrio “El Calvario”.

### **3.2.3. Topografía de la zona de estudio.**

Para obtener la topografía de la zona de estudio se cuenta con la colaboración de dos gestores de la titulación de Ingeniería Civil y los siguientes equipos facilitados por la misma titulación:

- GPS (Garmin Rino 110 Radio GPS)
- Estación Total (Sokkia Set630rk.)

La zona de estudio cuenta con una superficie de 1266.254 m<sup>2</sup>, este sector tiene algunos relieves irregulares, pero en general el terreno presenta una pendiente uniforme del 13 %. Su punto más alto se ubica al oriente con 2164 msnm y disminuye progresivamente hacia el occidente hasta su punto más bajo de 2145 msnm, lo que da como resultado un desnivel aproximado de 18 m.

### **3.3. Red de estudio**

La red final de estudio consta de dos sistemas de riego independientes. El primero propuesto para la red de goteros y microaspersores el cual usa el desnivel presente en el terreno para obtener la carga de presión necesaria para el funcionamiento de los emisores. La línea de conducción lleva el agua para los cultivos, desde un depósito ubicado a una distancia aproximada de 85 m. El desnivel es de 14 m desde el inicio de la parcela de estudio. El segundo sistema, para los aspersores, cuenta con un sistema de bombeo eléctrico y un depósito independiente que facilita constantemente el suministro de agua conectado de una red externa. El esquema de la red de estudio se muestra en la figura 15.

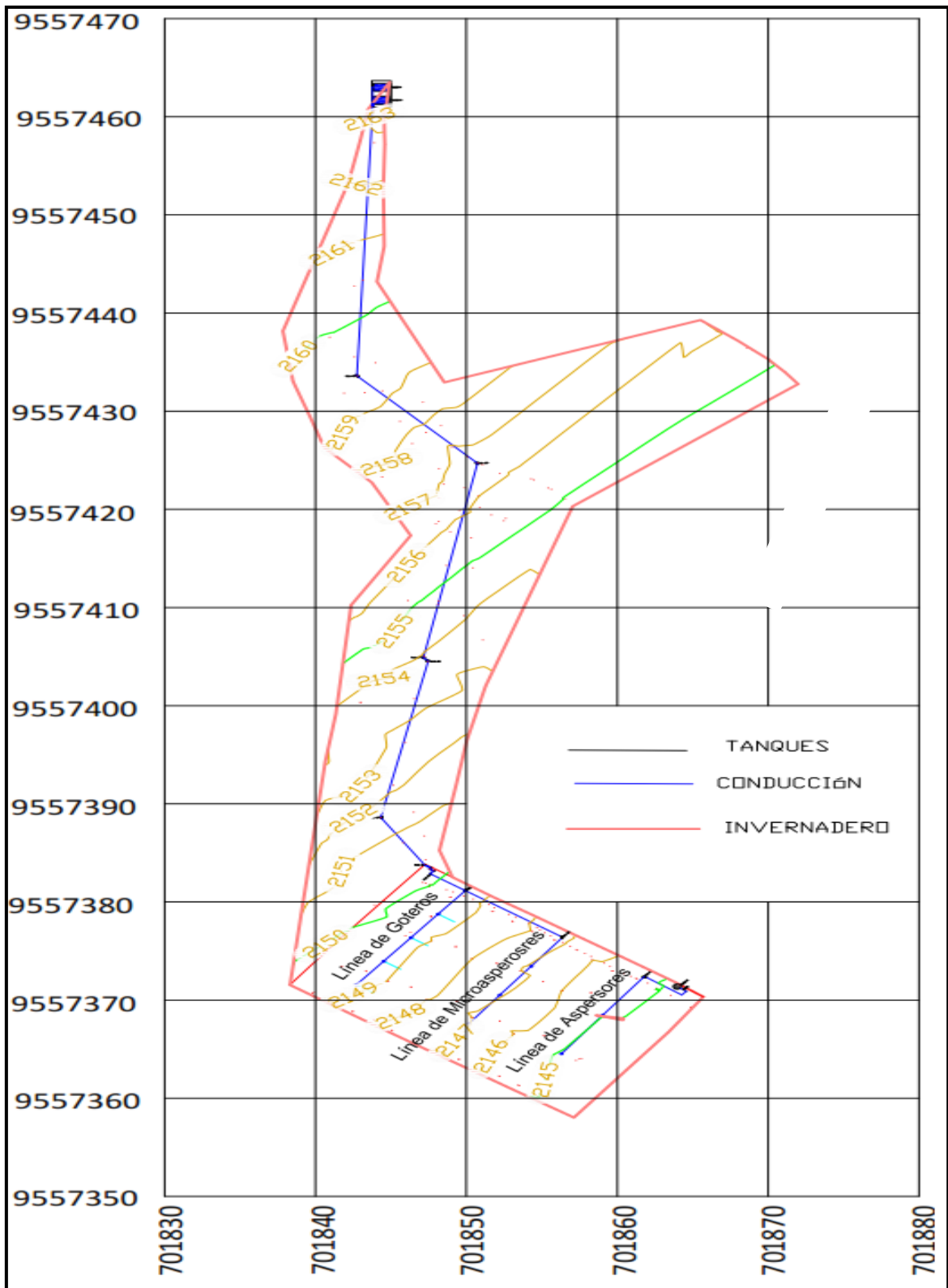


Figura 15. Topografía de la zona de estudio, con línea de conducción y parcela.  
 Fuente. El autor. Software AutoCAD Versión estudiantil.  
 Elaboración. El autor, 2015.



## **CAPÍTULO IV**

### **4. MATERIALES Y EQUIPOS**

#### 4.1. Componentes del Sistema.

Para el desarrollo del presente proyecto de investigación se cuenta con varios materiales y equipos los cuales pueden ser clasificados en grupos según la función que van a cumplir dentro de la red de estudio. Estos grupos son:

- Emisores de riego.
- Elementos que conforman la red de estudio.
- Equipo electrónico destinado a la recolección de datos de presión y caudal.

A continuación se detallan los materiales y equipos presentes en los grupos anteriormente mencionado, así como sus características y especificaciones técnicas.

#### 4.2. Emisores de riego.

En la presente investigación se analizan tres tipos de emisores:

- Aspersores.
- Microaspersores.
- Goteros.

##### 4.2.1. Aspersores.

Este grupo de emisores analizados se compone de tres tipos diferentes de aspersores. El modelo y cantidad de aspersores usados en la línea de aspersión se presentan en la tabla 4.1. Cada modelo de emisor se analiza individualmente para obtener datos representativos del caudal de descarga del aspersor operando con diferentes presiones de trabajo.

Tabla 4.1. Modelo y cantidad de aspersores usados en la investigación.

<b>MODELO</b>	<b>CANTIDAD</b>
ASPERSOR MEGANET (NARANJA 650 L/H).	2 U
ASPERSOR NAAN MAESTRO (AZUL).	2 U
ASPERSOR NAAN 5022 (AZUL).	2 U

Fuente. El autor.

Elaboración. El autor, 2015.

#### 4.2.1.1. *Aspersor MegaNet (naranja 650 l/h).*

La tabla 4.2 presenta las características hidráulicas y la relación caudal vs presión de este tipo de aspersor. Se resalta con color el modelo del aspersor seleccionado en la presente investigación y la presión y caudal que se usan para obtener la curva característica del emisor.

Tabla 4.2. Especificaciones técnicas del aspersor MegaNet

Modelo	Caudal	Coeficiente descarga	Exponente descarga	Presión en ( Bar )					
				0.5	1	1.5	2	2.5	3
Verde	350	72.3	0.5	162	229	280	323	362	396
Azul	450	92.2	0.5	206	292	357	412	461	505
Café	550	110.5	0.5	247	349	428	494	553	605
Naranja	650	135.6	0.5	303	429	525	606	678	743

Fuente. Catálogo de equipo de riego. EF-RIEGO. Ecology Farm. 2014  
Elaboración. El autor, 2015.



Figura 16. Aspersor MegaNet (Naranja).  
Fuente. El autor.  
Elaboración. El autor, 2015.

#### 4.2.1.2. *Aspersor Naan maestro (azul).*

La tabla 4.3 presenta el rango de presiones y caudales de operación, también el diámetro de riego del aspersor Naan maestro en sus diferentes modelos. Para la presente investigación se selecciona el modelo azul.

Tabla 4.3. Especificaciones técnicas del aspersor Naan Maestro.

Boquilla (mm)	Presión (Bar)	Caudal (L/h)	Diámetro (m)
3.0 Rojo	2.5	550	23
	3	590	24
	3.5	640	24
	4	690	24
3.2 Verde	2.5	620	23
	3	680	24
	3.5	740	24
	4	780	24
3.5 Azul	2.5	740	24
	3	810	24
	3.5	880	26
	4	940	26

Fuente. Catálogo de equipo de riego. EF-RIEGO. Ecology Farm . 2014  
Elaboración. El autor, 2015.



Figura 17. Aspersor Naan Maestro (Catalogo)  
Fuente. Catálogo de equipo de riego. EF-RIEGO  
Elaboración. El autor, 2015.



Figura 18. Aspersor Naan Maestro (Campo)  
Fuente. El autor.  
Elaboración. El autor, 2015.

#### 4.2.1.3. Aspersor Naan 5022 (azul).

En la tabla 4.4 se aprecia las diferentes presiones de trabajo del aspersor Naan 5022 y el caudal de descarga combinado de sus dos boquillas al operar bajo dichas presiones. También se presenta el diámetro de riego que refleja el alcance de riego de este emisor.

Tabla 4.4. Especificaciones técnicas del aspersor Naan 5022.

Boquilla	Presión	Caudal combinado	Diámetro
mm	(Bar)	(L/h)	m
2.8 x 1.8 Rojo	2.5	760	21
	3	840	22
	3.5	900	23
	4	970	22
3.2 x 1.8 Verde	2.5	820	21
	3	900	22
	3.5	980	23
	4	1040	23
3.5 x 1.8 Azul	2.5	890	23
	3	990	23
	3.5	1060	24
	4	1150	24
4.0 x 1.8 Negro	2.5	1100	24
	3	1220	25
	3.5	1330	25
	4	1430	26

Fuente. Catálogo de equipo de riego. NaanDanJain. Irrigation. 2014  
Elaboración. El autor, 2015.



Figura 19. Aspersor Naan 5022 (Azul).

Fuente. El autor.  
Elaboración. El autor, 2015.

#### 4.2.2. Microaspersores.

Para el análisis de este tipo de emisores se analiza los siguientes tipos de microaspersores: detallados en la tabla 4.5.

Tabla 4.5. Modelo y cantidad de microaspersores usados en la investigación. (Caudal alto)

MODELO	CANTIDAD
MICROASPIERSOR GYRONET TURBO 200 L/H (BOQUILLA AMARILLA).	3 U
MICROASPIERSOR MINI WOBBLER 1/2".	3 U
MICROASPIERSOR SPINET 70 L/H (NEGRO 30 cm).	3 U

Fuente. El autor.

Elaboración. El autor, 2015.

#### 4.2.2.1. *Microaspersor GyroNet turbo 200 L/h (amarillo).*

Es generalmente utilizado en viveros y cultivos extensos. Se fabrica en cuatro caudales nominales disponibles dependiendo del modelo del microaspersor. Su presión de trabajo recomendada y sus características hidráulicas se detallan en la tabla 4.6.

Tabla 4.6. Especificaciones técnicas del Microaspersor GyroNet turbo.

Modelo	Código de colores	Diámetro de boquilla (mm)	Presión (Bar)	Caudal (L/h)	Diámetro a 1 m de altura	Trayectoria (cm a 2-3 m)	Color del rotor
200	Amarillo	1.89	1.5	171	10	55	Gris
200	Amarillo	1.89	2	197	10	60	Gris
200	Amarillo	1.89	2.5	221	10	65	Gris
200	Amarillo	1.89	3	242	10	70	Gris
200	Amarillo	1.89	3.5	262	10	75	Gris
250	Violeta	2.14	1.5	216	11	60	Gris
250	Violeta	2.14	2	250	11	65	Gris
250	Violeta	2.14	2.5	280	11	70	Gris
250	Violeta	2.14	3	306	11	75	Gris
250	Violeta	2.14	3.5	331	11	80	Gris
300	Verde	2.31	1.5	253	12	65	Gris
300	Verde	2.31	2	293	12	70	Gris
300	Verde	2.31	2.5	328	12	75	Gris
300	Verde	2.31	3	359	12	80	Gris
300	Verde	2.31	3.5	388	12	85	Gris

Fuente. Catálogo de equipo de riego. EF-RIEGO. Ecology Farm CIA. LTDA. 2014

Elaboración. El autor, 2015.



Figura 20. Microaspersor GyroNet turbo 200 l/h.  
Fuente. El autor.  
Elaboración. El autor, 2015.

#### 4.2.2.2. *Microaspersor Mini Wobbler (1/2").*

La tabla 4.7 presenta los caudales de descarga que se generan cuando el microaspersor Mini Wobbler, trabaja con las presiones mostradas en la tabla 4.7. También se muestra el diámetro de riego a diferentes presiones.

Tabla 4.7. Especificaciones técnicas del Microaspersor mini Wobbler.

Código de aspersores	Presión en la boquilla (Bar)				
	1	1.5	2	2.5	3
Mini-Wobbler 1/2" (M /Boq #6)					
Caudal (L/h)	216	252	288	324	360
Diámetro a 0.50 m	10	10.9	11.5	11.7	12
Diámetro a 1.0 m	12.5	13.3	13.9	14.3	14.7

Fuente. Catálogo de equipo de riego. EF-RIEGO. Ecology Farm CIA. LTDA. 2014  
Elaboración. El autor, 2015.



Figura 21. Microaspersor Mini-Wobbler 1/2".  
Fuente. El autor.  
Elaboración. El autor, 2015.

#### 4.2.2.3. Microaspersor SpiNet 70 L/h (negro 30 cm).

En la tabla 4.8 se presentan las características hidráulicas del microaspersor SpinNet y sus rangos de operación de presión y caudal. Para la presente investigación se selecciona el modelo negro.

Tabla 4.8. Especificaciones técnicas del Microaspersor SpiNet.

Modelo	Código de colores	Presión (Bar)	Caudal (L/h)	Diámetro regado rotor gris	Trayectoria altura sobre cabeza (cm)	Diámetro regado rotor gris	Trayectoria altura sobre cabeza (cm)
70	Negro	2	62	6	19	7.5	37
		2.5	70				
		3	76				
SD160/90	Marrón	2	87	7.5	15	8	20
		2.5	90				
		3	100				
120	Rojo	2	110	8.5	25	9	41
		2.5	123				
		3	135				

Fuente. Catálogo de equipo de riego. EF-RIEGO. Ecology Farm CIA. LTDA. 2014  
Elaboración. El autor, 2015.



Figura 22. Microaspersor SpiNet (negro)

Fuente. El autor.

Elaboración. El autor, 2015.

#### 4.2.3. Goteros.

Para el estudio de este tipo de emisores se seleccionaron tres tipos de goteros, su modelo y cantidad se presentan en la tabla 4.9.



Tabla 4.9. Modelo y cantidad de goteros usados en la investigación.

MODELO	CANTIDAD
GOTERO TIRAN 16009 (1.5 L/H - 0.3 m).	15 metros
GOTERO PCJ AUTOCOMPENSANTE (4 L/H).	16 unidades
GOTERO TURBO KEY (PLUS).	16 unidades

Fuente. El autor.

Elaboración. El autor, 2015.

#### 4.2.3.1. Gotero Tiran 16009.

La tabla 4.10 presenta el caudal de descarga del gotero para cada una de las diferentes presiones de trabajo. También se presenta el caudal nominal cuando la presión es igual a 1 Bar y el coeficiente y el exponente de descarga característicos para este emisor. Estos datos son proporcionados por el fabricante.

Tabla 4.10. Especificaciones técnicas del gotero Tiran 16009.

Caudal Nominal a 1 (Bar) del modelo (L/h)	Coeficiente (K) con el caudal nominal	Exponente de descarga (x)	Presión (Bar)				
			1	1.2	1.4	1.6	1.8
1	0.348	0.46	1	1.21	1.38	1.53	1.66
1.5	0.52	0.46	1.5	1.81	2.06	2.29	2.49
2	0.693	0.46	2	2.41	2.75	3.05	3.31
4	1.387	0.46	4	4.82	5.5	6.1	6.63
8	2.774	0.46	8	9.64	11	12.19	13.26

Fuente. Catálogo de equipo de riego. NETAFIM. CIA. LTDA. 2014

Elaboración. El autor, 2015.



Figura 23. Gotero Tiran 16009 1.5 L/h

Fuente. Valley Sistemas de Riego, 2015

Elaboración. El autor, 2015.

#### 4.2.3.2. Gotero PCJ autocompensante.

La tabla 4.11 muestra las características hidráulicas del gotero PCJ autocompensante en diferentes modelos, se aprecia que todos los modelos tienen un rango de presión de trabajo entre 0.7 Bar y 4 Bar. Mientras se opere dentro de este rango el caudal descargado será constante y el exponente de descarga será igual a cero.

Tabla 4.11. Especificaciones técnicas y características hidráulicas del gotero PCJ Autocomp.

Caudal Nominal (L/h)	Rango de presión de trabajo (Bar)	Área de filtración (mm <sup>2</sup> )	Coefficiente (K) con el caudal nominal	Exponente de descarga (x)	Presión de cierre (Bar)	Código de color de la base	Color de la tapa
0.5	0.7 – 4.0	1.8	0.5	0	0.12	Mostaza	Negro
1.2	0.7 – 4.0	2	1.2	0	0.12	Marrón	Negro
2	0.7 – 4.0	2	2	0	0.12	Rojo	Negro
3	0.7 – 4.0	2	3	0	0.12	Azul	Negro
4	0.7 – 4.0	2	4	0	0.12	Gris	Negro
8	0.7 – 4.0	2	8	0	0.12	Verde	Negro
12	0.7 – 4.0	2	12	0	0.12	Fucsia	Negro

Fuente. Catálogo de equipo de riego. NETAFIM. CIA. LTDA. 201  
Elaboración. El autor, 2015.



Figura 24. Gotero PCJ Autocompensante (Gris)

Fuente. El autor.  
Elaboración. El autor, 2015.

#### 4.2.3.3. Gotero Turbo-Key plus.

En la tabla 4.12 se observa el caudal que descarga el gotero Turbo Key cuando opera con las presiones comprendidas entre 0.5 Bar y 3.5 Bar. El modelo de gotero seleccionado para la presente investigación es el que proporciona un caudal nominal de 4 l/h.

Tabla 4.12. Especificaciones técnicas del gotero Turbo Key.

Presión (bar)	Caudal (l/h)			
	0.5	1.4	2.9	5.7
1	2	4	8	14
1.5	2.4	4.9	9.7	17
2	2.8	5.6	11.2	19.5
2.5	3.1	6.2	12.4	21.7
3	3.4	6.8	13.6	23.7
3.5	3.6	7.3	14.6	25.5
Caudal Nominal (L/h)	2	4	8	14
Exponente de descarga (x)	0.48	0.48	0.48	0.48

Fuente. Catálogo de micro irrigación. NaanDannJain Irrigation. 2014  
Elaboración. El autor, 2015.



Figura 25. Gotero Turbo Key (Plus).

Fuente. El autor.

Elaboración. El autor, 2015.

#### 4.3. Elementos que conforman la red de estudio.

Para el desarrollo de la presente investigación se emplean los siguientes componentes que conforman la red de riego de estudio:

Tabla 4.13. Componentes de la red de riego analizada.

Cantidad	Componente
2	Tanque de reserva horizontal de 0.5 m <sup>3</sup>
2	Tanque de reserva cónico de 0.12 m <sup>3</sup>
1	Bomba Pedrollo CPM620 de 1 HP
2	Filtro de red inoxidable de ¾"
2	Válvula de corte de ¾"
3	Válvula de corte de ½"
2	Manómetro
3	Medidores analógicos de volumen

Fuente. El autor.  
Elaboración. El autor, 2015.

#### 4.3.1. Tanque de reserva horizontal.

La parcela de estudio cuenta con un depósitos de 0.5 m<sup>3</sup> de volumen que se conecta con la parcela mediante una conducción de 84 m de longitud, que permite realizar el riego en las líneas de goteo y microaspersión. Además cuenta con un sistema de alimentación de caudal constantemente por una red externa de agua que permite realizar el riego sin que se agote el agua en dichos depósitos.



Figura 26. Tanque de reserva horizontal de 0.5 m<sup>3</sup>  
Fuente. Catálogo de productos. Plastigama 2014  
Elaboración. El autor, 2015.

#### 4.3.2. Tanque de reserva cónico.

Para realizar el estudio de la red de aspersores se cuenta con dos depósitos de 0.12 m<sup>3</sup> cada uno, ubicados dentro de la parcela. Estos componen el sistema de bombeo usado en la línea de aspersores. Los depósitos son alimentados constantemente por una red externa de agua que permite realizar el riego.



Figura 27. Tanques de reserva cónicos  
 Fuente. El autor  
 Elaboración. El autor, 2015..

### 4.3.3. Bomba Pedrollo CPm 620.

Para el análisis de los aspersores es necesario contar con un sistema de bombeo que brinde la carga de presión suficiente para el correcto funcionamiento de los mismos. La bomba usada en este sistema es Pedrollo CPm 620 y sus características se presentan en la tabla 4.14.

Tabla 4.14. Características de la bomba.

Modelo:	CPm 620
Potencia:	1 (HP)
H máx:	35 (m)
H mín:	19 (m)
Intensidad:	12 (A)
Voltaje:	110 (V)
Q máx:	1.5 (L/s)

Fuente. Catálogo electrobombas Pedrollo.  
 Elaboración. El autor, 2015.



Figura 28. Electrobomba CPm 620  
 Fuente. El autor  
 Elaboración. El autor, 2015.

La tabla 4.15 muestra varios modelos de bombas y las alturas a la que pueden impulsar el agua estos equipos en función de la cantidad de caudal que necesite ser bombeado. Estos datos permiten crear las curvas de funcionamiento de los diferentes modelos de bombas y elegir la que mejor se adapte a los requerimientos de presión de nuestro sistema.

Tabla 4.15. Especificaciones técnicas de la bomba Caudal vs Potencia.

Modelo Bomba	Potencia		Q (m <sup>3</sup> /h)	0	0.6	1.2	1.8	2.4	3	3.6	4.2	4.8	5.4
	kW	HP	Q (L/s)	0	0.167	0.333	0.5	0.667	0.833	1	1.167	1.333	1.5
CPm 580	0.3	0.4	H (m)	17.5	15.5	14	12	10	7	4			
CPm 600	0.37	0.5		21.5	20	19	17	15	12.5	9.5	6		
CPm 610X	0.6	0.85		30	28.5	27	25.5	23.5	21	17.5	14		
CPm 620	0.75	1		35	34	33	31.5	29.5	27	24	20.5	17	13
CPm 630	1	1.35		45	43	41	39	37	35	32	29	25	21

Fuente. Catálogo electrobombas Pedrollo.  
Elaboración. El autor, 2015.

La figura 29 muestra la curva de funcionamiento de la bomba seleccionada, se opta por este modelo debido a que cumple con los requerimientos de carga de presión que se necesita en la presente investigación y por ser un modelo muy comercial y usado en la ciudad de Loja.

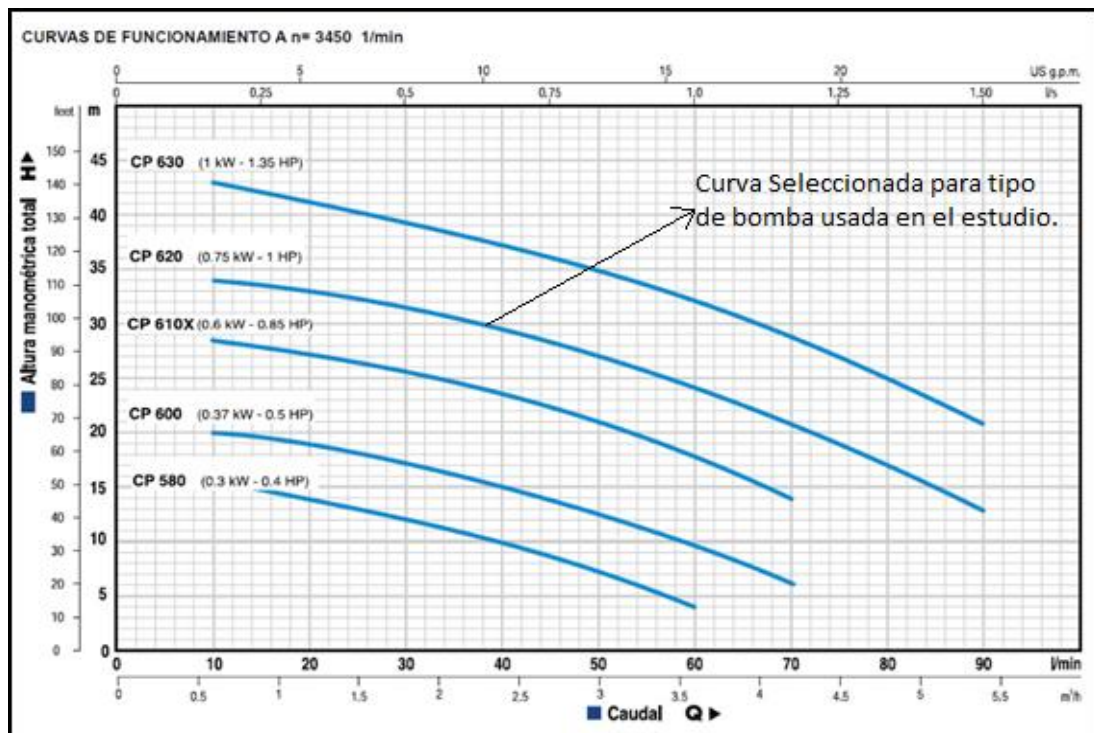


Figura 29. Curva de funcionamiento de Electrobomba CPm 620  
Fuente. Catálogo electrobombas Pedrollo.  
Elaboración. El autor, 2015.

#### 4.3.4. Filtro de red.

El sistema de riego consta de dos filtros ubicados al inicio de la parcela antes de las líneas secundarias y al final de la línea de conducción principal. Su función es retener las partículas de mayor tamaño presentes en el agua para evitar la obstrucción de los emisores.

En la tabla 4.16 se observa las características hidráulicas del filtro usado en la red de riego y su rango de operación. La figura 31 representa la curva de pérdida de carga que genera el filtro al trabajar con diferentes caudales y sirve para realizar la modelación en el software Epanet 2.0.

Tabla 4.16. Características del filtro

<b>Modelo-</b>	Filtro en "Y" de red
<b>Presión Máxima-</b>	8 Bar
<b>Caudal nominal-</b>	5 m <sup>3</sup> /h
<b>Diámetro cartucho-</b>	37 mm
<b>Longitud cartucho-</b>	129 mm
<b>Enganche disponible</b>	¾" – 1"
<b>Q máximo-</b>	1.5 (L/s)

Fuente. Catálogo de riego Irritec.  
Elaboración. El autor, 2015.



Figura 30. Filtro "Y" de red inoxidable de ¾".  
Fuente. El autor  
Elaboración. El autor, 2015.

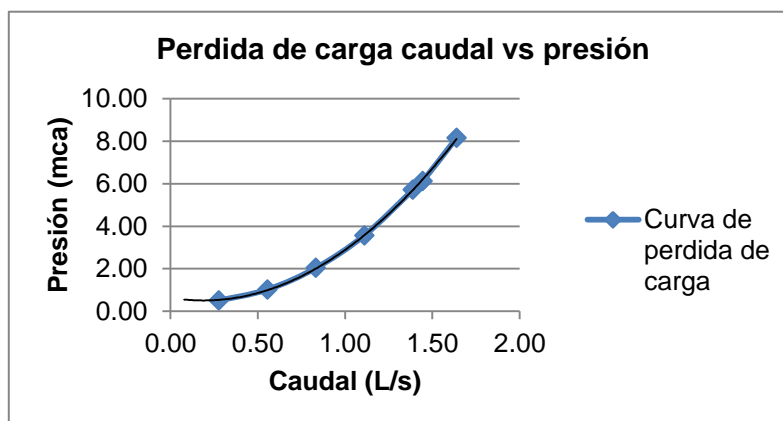


Figura 31. Curva de pérdida de carga vs caudal del filtro "Y" de ¾".  
Fuente. Catálogo de riego Irritec.  
Elaboración. El autor, 2015.

#### 4.3.5. Válvula de corte.

Estas válvulas permiten realizar el riego por líneas separadas, es decir independientes unas de otras. Se ubican a la salida de los depósitos y al inicio de cada línea secundaria de riego. La tabla 4.17 presenta el coeficiente de perdidas menores para diferentes modelos de válvulas y sirve para introducir este coeficiente en la simulación de Epanet y así considerar estas pérdidas.

Tabla 4.17. Pérdidas localizadas por accesorios.

Accesorios	K	L/D
Válvula esférica (totalmente abierta)	10	350
Válvula en ángulo recto (totalmente abierta)	5	175
Válvula de seguridad (totalmente abierta)	2.5	-
Válvula de retención (totalmente abierta)	2	135
Válvula de compuerta (totalmente abierta)	0.2	13
Válvula de compuerta (abierta ¾")	1.15	35
Válvula de compuerta (abierta ¾")	5.6	160
Válvula de compuerta (abierta ¾")	21	900

Fuente. Cátedra de Ing. Rural. Universidad de Castilla.  
Elaboración. El autor, 2015..



Figura 32. Válvula de corte.

Fuente. El autor  
Elaboración. El autor, 2015.

#### 4.3.6. Manómetro.

Estos dispositivos tienen la función de medir la presión en cada línea de análisis con el objetivo de comparar este valor con el valor obtenido mediante los sensores electrónicos, estos accesorios se ubican al inicio de cada línea de análisis individual, junto a los sensores electrónicos de presión y de caudal.

Tabla 4.18. Características técnicas de manómetro.

Modelo-	Manómetro con glicerina PTK
Precisión	0.5
Rangos	0 – 10 (Bar)
Diámetros	40 – 250 (mm)
Conexión rosca macho	¼"
Líquido anti vibraciones	-

Fuente. Catálogo de Accesorios PTK.  
Elaboración. El autor, 2015.



Figura 33. Manómetro con rango de presión de 0 a 10 Bar.

Fuente. El autor  
Elaboración. El autor, 2015.

#### 4.3.7. Medidor análogo de volumen.

La función de este complemento es medir el volumen que circula por las líneas de análisis individuales en un determinado tiempo. Se cuida el caudal volumétrico para compararlo con el valor obtenido mediante los sensores electrónicos. La tabla 4.19 presenta los rangos máximos y mínimos de operación del medidor análogo de volumen.



Tabla 4.19. Características del medidor de volumen.

<b>Modelo-</b>	Medidor chorro único ½ Bar Meters MT-KD
<b>Diámetro nominal</b>	½" – 15 mm
<b>Caudal nominal</b>	1.5 (m <sup>3</sup> /h)
<b>Caudal máximo</b>	3 (m <sup>3</sup> /h)
<b>Caudal de transición</b>	0.12 (m <sup>3</sup> /h)
<b>Caudal mínimo</b>	0.03 (m <sup>3</sup> /h)

Fuente. Catálogo de medidores Bar meter.  
Elaboración. El autor, 2015.



Figura 34. Medidor de agua MT-KD  
Fuente. El autor  
Elaboración. El autor, 2015.

#### 4.4. Equipo electrónico destinado a la obtención de datos de presión y caudal.

Para la recolección de datos en la presente investigación se cuenta con el uso del Software HOBOWare el cual permite recoger los datos de presión y caudal con que se encuentran operando los emisores en tiempo real y los guarda en el data logger, con frecuencias de toma de datos de un segundo. Como complemento para este Software se cuenta con un sistema de control de variables compuesto por los siguientes equipos:

Tabla 4.20. Componentes del sistema de obtención de datos de campo.

Cantidad	Dispositivos o equipos	Modelo-Marca	Descripción	Rango de trabajo
1	Kobol MIK Series Magneto-Inductive Flow Meter	MIK-5NAU1PL443	Sensor de caudal	3 - 960 (L/h)
1	AST4100 OEM Compact Pressure Sensor	AST4100-A-00100-P-T-A-0-000	Sensor de presión	0 - 100 (Psi)
1	Datalogger HOBO 4 canales externos	U12-012	Registrador de datos	cada segundo
1	Tablero Beacoup 30 x 30 cm	NA	Conector para sensores	-
1	UPS	ST-2406-2AQ	Fuente de poder	0 - 7 (Amperios)

Fuente. El Autor.  
Elaboración. El autor, 2015



Figura 35. Sistema electrónico de adquisición de datos  
Fuente. El autor.  
Elaboración. El autor, 2015.

## **CAPÍTULO V**

### **5. METODOLOGÍA**

### **5.1. Reconocimiento y levantamiento topográfico del terreno donde se ubica la parcela de estudio.**

Esta fase consiste principalmente en el trabajo realizado en campo, en el cual se reconoce y analiza las características de la zona de estudio. Los principales factores que permiten realizar el diseño de la red de estudio que se implementará en dicha zona son: ubicación, recursos hídricos disponibles y clima.

El levantamiento topográfico de la zona de estudio se realiza con el fin de obtener las características topográficas del terreno y establecer la topología final de la red de riego.

### **5.2. Diseño del sistema de riego y definición del material a instalar.**

Con el levantamiento topográfico se planifica el trazado de la red de estudio para obtener longitudes de tubería incluidos los accesorios necesarios para su implementación. Posteriormente se realiza el diseño y análisis de la misma, mediante el método del gradiente hidráulico el cual se basa en la condición que en cada nudo de la red debe cumplirse la ecuación de continuidad que se basa en la ley de la conservación de la masa es decir el caudal permanece constante al ser trasladado de un punto a otro. Para el desarrollo de este diseño se utiliza hojas electrónicas de Microsoft Excel las cuales se pueden apreciar en (Anexo 1).

En el diseño y análisis se toma en cuenta las demandas de caudal nominal de los emisores de mayor requerimiento hidráulico, las pérdidas continuas y localizadas presentes en la red. Como resultado se obtiene dos redes independientes, una de menor presión que funciona a gravedad, la cual se usa para los goteros y microaspersores; y otra red de mayor presión que funciona mediante un sistema de bombeo, la cual se usa para el análisis de los aspersores. Es necesario realizar estas dos redes que trabajan con diferentes presiones debido a que los goteros operan con rangos de presiones bajos, comparados con el rango de operación de los aspersores y algunos microaspersores. Las líneas de riego finales se muestran en la figura 36.

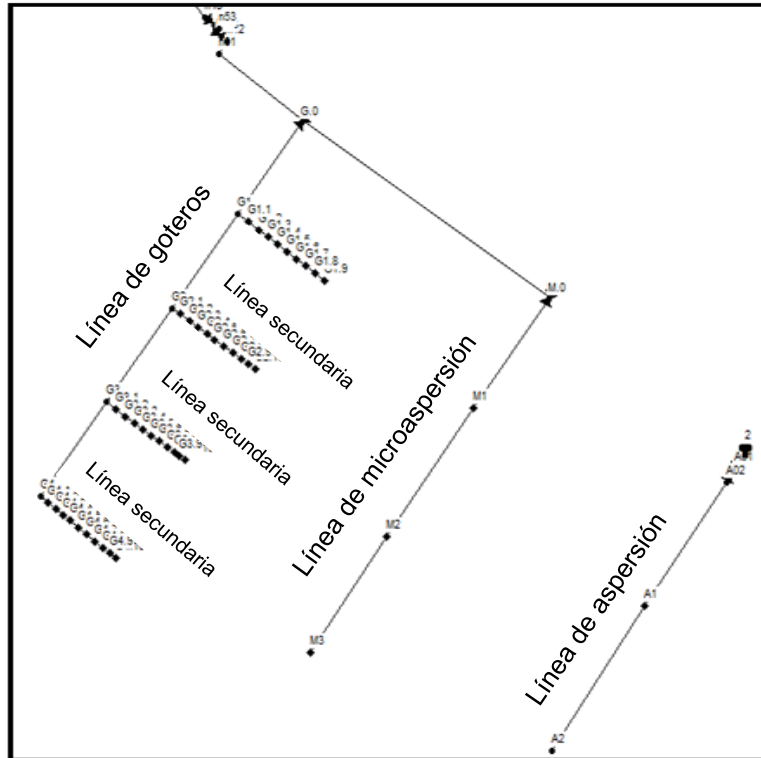


Figura 36. Topología de la red de estudio.  
Fuente. El autor. Software Epanet 2.0.  
Elaboración. El autor, 2015.

### 5.3. Instalación del sistema de riego con los emisores a evaluar.

Esta etapa consiste en realizar la compra e instalación de los materiales y equipos que conforman la red de estudio.



Figura 37. Instalación de la red de riego para toma de datos de campo.  
Fuente. El autor.  
Elaboración. El autor, 2015.

#### 5.4. Calibración del equipo electrónico de obtención de datos de campo.

La calibración de los sensores encargados de medir la presión y caudal de trabajo de los emisores, fue ejecutado con la ayuda de personal de la titulación de Electrónica y Telecomunicaciones.



Figura 38. Calibración del sistema electrónico de obtención de datos.  
Fuente. El autor.  
Elaboración. El autor, 2015.

#### 5.5. Obtención de datos experimentales (análoga, sensometría).

Los datos de presión y caudal son medidos y grabados en forma electrónica, los valores son comprobados de manera constante con los datos proporcionados por los métodos de medición análoga. La recolección de datos se realiza durante un tiempo de 30 minutos para cada emisor, en el siguiente orden:

1. Línea de goteros (funcionando una línea secundaria de gotero en el sistema de baja presión).
2. Línea de goteros (funcionando cuatro líneas secundarias de goteo en el sistema de baja presión).
3. Línea de microaspersores (funcionando un microaspersor en el sistema de baja presión)
4. Línea de microaspersores (funcionando un microaspersores en el sistema de alta presión)
5. Línea de aspersores (funcionando un aspersor en el sistema de alta presión).
6. Línea de aspersores (funcionando dos aspersores en el sistema de alta presión).

El orden anteriormente descrito es similar para todos los tipos de emisores seleccionados

Mediante el software HOBOWare se exportan los datos guardados en el data logger a hojas electrónicas para facilitar su análisis en el cual se obtiene el valor promedio de

presión y caudal para cada ensayo realizado y con esto se procede al cálculo del coeficiente de descarga  $K_e$ . Las hojas electrónicas se presentan en el archivo electrónico, (Cálculo de coeficientes de descarga).



Figura 39. Toma de datos de campo en la parcela de estudio.  
Fuente. El autor.  
Elaboración. El autor, 2015.

## 5.6. Cálculo y análisis de coeficientes de descarga $K_e$ de los emisores seleccionados.

Para el cálculo del coeficiente de descarga se utiliza la ecuación de descarga propuesta por Keller & Karmeli (1974). Como datos iniciales se toma las presiones y caudales obtenidos en campo. Estos datos se presentan en las hojas electrónicas que se encuentran en el archivo electrónico (Cálculo de coeficiente de descarga).

A continuación se desarrolla el cálculo del coeficiente de descarga  $K_e$  para el aspersor MegaNet (naranja 650 l/h), como ejemplo para explicar el proceso de cálculo.

### Datos de campo:

- Presión en metros de columna de agua (mca) = 29.832      Caudal (l/s) = 0.2034

### Datos de fábrica:

- Exponente de descarga (x) = 0.5

### Desarrollo:

- Ecuación de descarga  $Q = K_e \times P^x$  Ecuación 4.1
- Reemplazar valores  $0.2034 = K_e \times 29.832^{0.5}$  Ecuación 4.2
- Despejar  $K_e$   $K_e = \frac{0.0.2034}{29.832^{0.5}}$  Ecuación 4.3
- Resultado coeficiente  $K_e$   $K_e = 0.0372$   $\left(\frac{L}{s \times mca}\right)$

Generalmente el coeficiente de descarga se expresa en unidades de caudal (litros/hora). Pero para facilitar la modelación de los coeficientes en el software Epanet 2.0 se realiza la conversión de unidades de caudal a (litros/segundo).

- $K_e = 0.04826226 \left(\frac{L}{s \times mca}\right) \times 3600 \left(\frac{s}{h}\right) = 134.037 \left(\frac{L}{h \times mca}\right)$

El procedimiento anteriormente descrito es el aplicado para el cálculo del coeficiente de descarga  $K_e$  de todos los emisores analizados en esta investigación. Para ello se usan hojas electrónicas de Microsoft Excel, que permiten realizar los cálculos de manera más eficiente y precisa. Estas hojas se pueden apreciar en el archivo electrónico, (Cálculo de coeficientes de descarga).

Con los datos de presión y caudal obtenidos en campo se grafica la curva característica del emisor que representa las descargas que proporciona el emisor al operar bajos diferentes rangos de presiones. De la curva característica se obtiene la ecuación de descarga del emisor.

### 5.7. Modelación de coeficientes $K_e$ de los aspersores y microaspersores en la red de estudio mediante el software libre EPANET 2.0 v. E.

Con los coeficientes  $K_e$  obtenidos de la ecuación de descarga del emisor se realizar la modelación de la red de estudio mediante el Software libre Epanet 2.0, con el objetivo de analizar su comportamiento frente a los diferentes tipos de emisores y la variación que existe entre ellos.



En la figura 40 se presenta la modelación realizada en Epanet 2.0 aplicando el coeficiente de emisor  $K_e$  obtenido en la presente investigación.

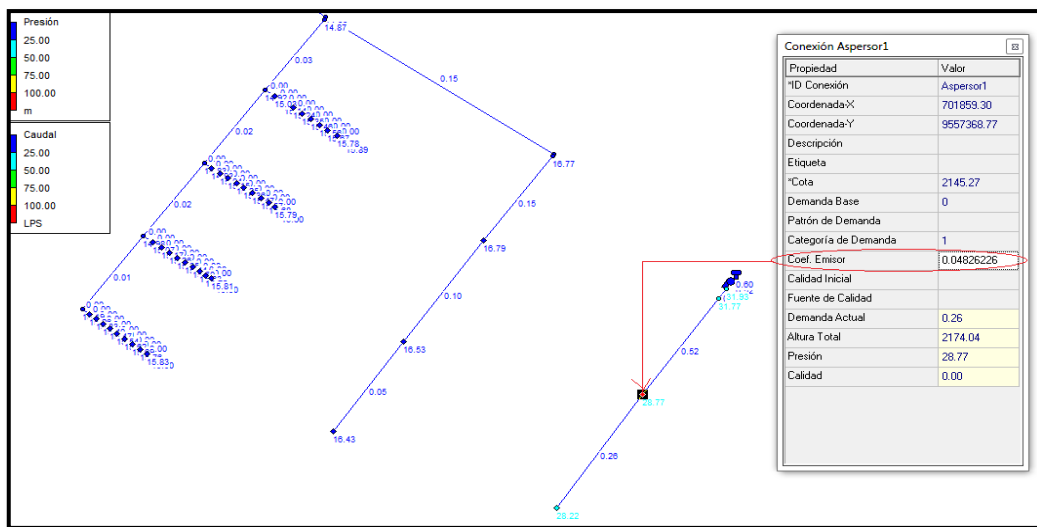


Figura 40. Red de análisis modelada con coeficientes calculados.  
Fuente. El autor. Software Epanet 2.0.  
Elaboración. El autor, 2015.

### 5.8. Obtención del caudal real descargado por los emisores y comparación con el obtenido mediante sensometría.

Para comprobar el caudal obtenido mediante el sistema electrónico (de obtención de datos), se realiza la obtención del caudal real descargado por el emisor. Para esto se recolecta el volumen de agua entregada por el emisor en un tiempo de 10 minutos y mediante estos valores se calcula el caudal real entregado por el emisor. Esta etapa del proyecto se desarrolla en laboratorio, porque cuenta con la infraestructura necesaria para facilitar la recolección de agua descargada por el emisor.



Figura 41. Toma de datos de caudal real descargado por emisores.  
Fuente. El autor. Software Epanet 2.0.  
Elaboración. El autor, 2015.

## **CAPÍTULO VI**

### **6. RESULTADOS Y ANÁLISIS**

## 6.1. Resultado y análisis.

Para el cálculo de los coeficientes  $K_e$  de los emisores seleccionados es necesario establecer los datos de entrada. Los cuales son:

- Presión de fábrica: expresa el rango de presiones de trabajo proporcionado por el fabricante en las especificaciones técnicas del emisor; en bar, mca.
- Caudal teórico de fábrica: indica el caudal descargado por el emisor al trabajar con distintas presiones; en l/h, l/s.
- Exponente de descarga: coeficiente propuesto por el fabricante que indica el régimen de flujo en el que trabaja el emisor.
- Presión en campo: expresa el valor promedio de la presión de trabajo medida en campo.
- Caudal en campo: expresa el valor del caudal de descarga promedio medido en campo.
- Coeficiente  $K_e$  de campo: indica el coeficiente de descarga  $K_e$  obtenido mediante los datos de campo.
- Coeficiente  $K_e$  de fábrica: indica el coeficiente de descarga  $K_e$  obtenido mediante los datos proporcionados por las especificaciones técnicas de fábrica.
- Porcentaje de variación: expresa el porcentaje de variación existente en el caudal de descarga al aplicar los coeficientes de descarga  $K_e$  obtenidos mediante los datos de fábrica y los que se obtiene en campo.

También se presenta una representación gráfica de la curva característica del emisor y la línea de tendencia de los datos de campo que reflejan el caudal de descarga que ofrece el emisor al trabajar a diferentes presiones.

A continuación se presentan los resultados y análisis de coeficientes de descarga  $K_e$ , para diferentes tipos de emisores seleccionados.

### 6.1.1. Goteros.

#### 6.1.1.1. *Tiran 16009 1.5 l/h 0.3m ml*

Los coeficientes de descarga  $K_e$  obtenidos con los datos de fábrica y datos de campo se presentan en la tabla 6.1. Al analizar la variación entre el caudal de descarga obtenido en campo y el que proporciona el fabricante se observa que la diferencia entre

ellos es baja, obtenido una variación mínima de 0.75% y máxima de 3.35%. La ecuación característica (ecuación de descarga) resultante para este tipo de gotero es la siguiente:

$$Q = 0.00004 \times P^{1.007} \quad \text{Ecuación 6.1}$$

Dónde:

- Q - Caudal de descarga del emisor, en l/s.
- P - Presión hidráulica de entrada del agua en el emisor, en mca.

En la ecuación característica se destaca que el exponente de descarga es aproximadamente uno, que significa que este gotero trabaja bajo un régimen de flujo laminar, es decir proporciona un caudal bajo a velocidad baja.

La tabla 6.1 muestra una comparación y el porcentaje de variación entre los datos de presión y caudal obtenidos en campo y los datos proporcionados por el fabricante. También presenta el coeficiente de descarga calculado para las diferentes presiones y caudales.

Tabla 6.1. Coeficientes de descarga Ke del gotero Tiran 16009.

<b>GOTERO TIRAN 16009 1.5 L/H 0.3M ML</b>						
Presión fábrica (bar)		1.000	1.200	1.400	1.600	1.800
Presión fábrica (mca)		10.197	12.237	14.276	16.316	18.355
Caudal teórico fábrica (l/s)		4.17E-04	5.03E-04	5.72E-04	6.36E-04	6.92E-04
Coeficiente Ke teórico (l/s*mca)		1.43E-04	1.59E-04	1.68E-04	1.76E-04	1.81E-04
Coeficiente Ke teórico (l/h*mca)		0.515	0.572	0.606	0.634	0.653
Exponente de descarga (x)	<b>0.460</b>					
Presión en campo (mca)	10.821	11.087	11.777	13.394	13.661	13.844
Caudal en campo (l/s)	4.28E-04	4.49E-04	4.73E-04	5.33E-04	5.43E-04	5.62E-04
Coeficiente Ke de campo (l/s*mca)	1.43E-04	1.48E-04	1.52E-04	1.62E-04	1.63E-04	1.68E-04
Coeficiente Ke de fábrica (l/s*mca)	1.48E-04	1.50E-04	1.55E-04	1.64E-04	1.66E-04	1.66E-04
Coeficiente Ke de campo (l/h*mca)	<b>0.515</b>	<b>0.534</b>	<b>0.548</b>	<b>0.582</b>	<b>0.587</b>	<b>0.604</b>
Coeficiente Ke de fábrica (l/h*mca)	<b>0.533</b>	<b>0.540</b>	<b>0.559</b>	<b>0.591</b>	<b>0.596</b>	<b>0.599</b>
Porcentaje de variación (%)	<b>3.35</b>	<b>1.08</b>	<b>2.04</b>	<b>1.63</b>	<b>1.50</b>	<b>0.75</b>

Fuente. El Autor.

Elaboración. El Autor, 2015.

La figura 42 representa una comparación entre los caudales descargados por el emisor bajo diferentes presiones de operación obtenidos en campo y los caudales de descarga teóricos proporcionados por el fabricante.

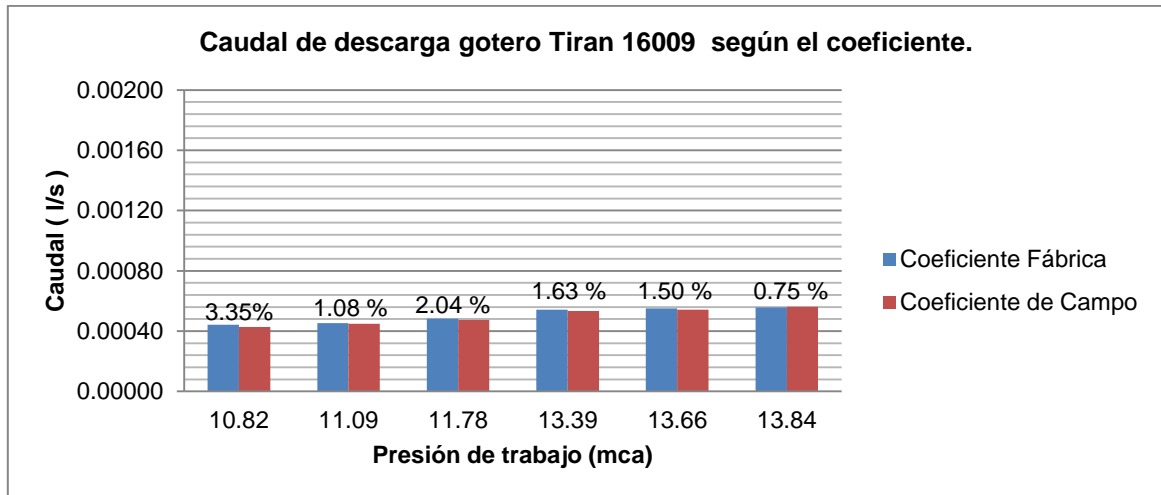


Figura 42. Comparación de caudales de descarga gotero Tiran 16009.  
Fuente. El Autor  
Elaboración. El Autor, 2015

La figura 43 muestra una comparación entre las curvas características obtenidas con los datos recolectados en campo y los datos proporcionados por el fabricante en el catalogo para el gotero tiran 16009.

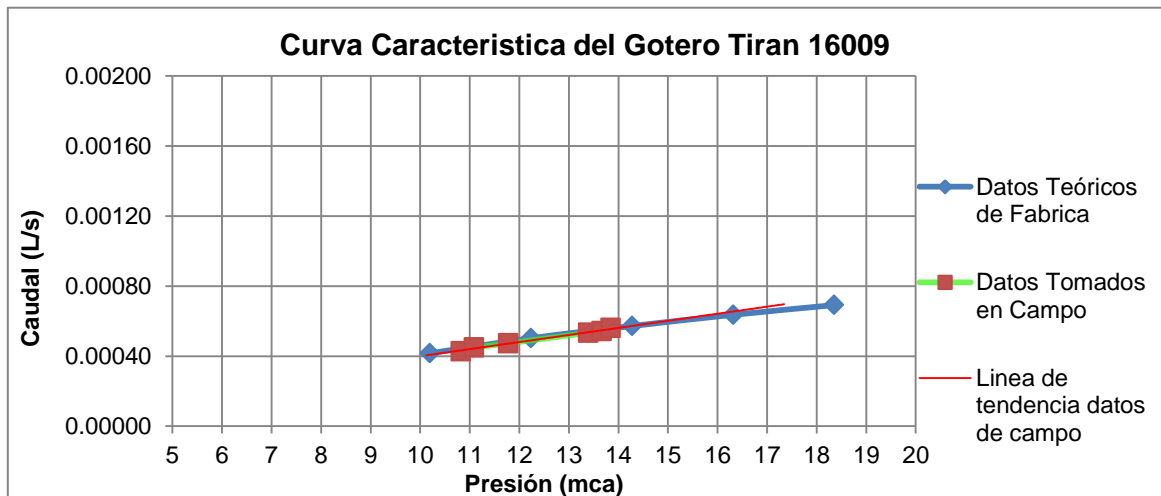


Figura 43. Comparación de curva características gotero Tiran (datos fábrica y campo)  
Fuente. El Autor  
Elaboración. El Autor, 2015.

#### 6.1.1.2. PCJ autocompensante 4 (L/h)

El gotero PCJ analizado es de tipo autocompensante y tiene un rango de presiones de trabajo de 7.14 mca a 16.32 mca. El coeficiente de descarga  $K_e$  será aproximadamente el mismo dentro de este rango. La ecuación de descarga de este emisor se obtiene de la curva característica presente en la figura 46, la ecuación resultante es:

$$Q = 0.0011 \times P^{-0.004}$$

Ecuación 6.2

Dónde:

- Q - Caudal de descarga del emisor, en l/s.
- P - Presión hidráulica de entrada del agua en el emisor, en mca.

En la ecuación característica se destaca que el exponente de descarga se aproxima a cero por lo que este gotero se cataloga como autocompensante.

La tabla 6.2 presenta las presiones y caudales de operación del gotero PCJ autocompensante obtenidas en campo y las compara con los datos presentados por el fabricante en el catálogo. El exponente de descarga es cero, porque la curva característica se presenta como una línea recta.

Tabla 6.2. Coeficientes de descarga Ke del gotero PCJ autocompensante.

<b>GOTERO PCJ AUTOCOMPENSANTE 4 L/H NET</b>						
Presión fábrica (bar)	0.700			1.600		
Presión fábrica (mca)	7.138			16.316		
Caudal teórico fábrica (l/s)	1.11E-03			1.11E-03		
Coeficiente Ke teórico (l/s*mca)	1.11E-03			1.11E-03		
Coeficiente Ke teórico (l/h*mca)	4.000			4.000		
Exponente de descarga (x)	<b>0.000</b>					
Presión en campo (mca)	11.123	11.312	11.446	12.571	12.791	12.958
Caudal en campo (l/s)	1.11E-03	1.11E-03	1.12E-03	1.09E-03	1.11E-03	1.13E-03
Coeficiente Ke de campo (l/s*mca)	1.11E-03	1.11E-03	1.12E-03	1.09E-03	1.11E-03	1.13E-03
Coeficiente Ke de fábrica (l/s*mca)	1.11E-03	1.11E-03	1.11E-03	1.11E-03	1.11E-03	1.11E-03
Coeficiente Ke de campo (l/h*mca)	<b>3.983</b>	<b>4.010</b>	<b>4.043</b>	<b>3.930</b>	<b>3.988</b>	<b>4.065</b>
Coeficiente Ke de fábrica (l/h*mca)	<b>4.000</b>	<b>4.000</b>	<b>4.000</b>	<b>4.000</b>	<b>4.000</b>	<b>4.000</b>
Porcentaje de variación (%)	<b>0.44</b>	<b>0.25</b>	<b>1.05</b>	<b>1.78</b>	<b>0.29</b>	<b>1.60</b>

Fuente. El Autor.

Elaboración. El Autor, 2015

En la figura 44 se muestra el caudal de descarga obtenido en los ensayos de campo con las diferentes presiones de trabajo y los compara con los datos de fábrica. Se destaca una variación mínima de 0.25% y máxima de 1.78% entre dichos coeficientes

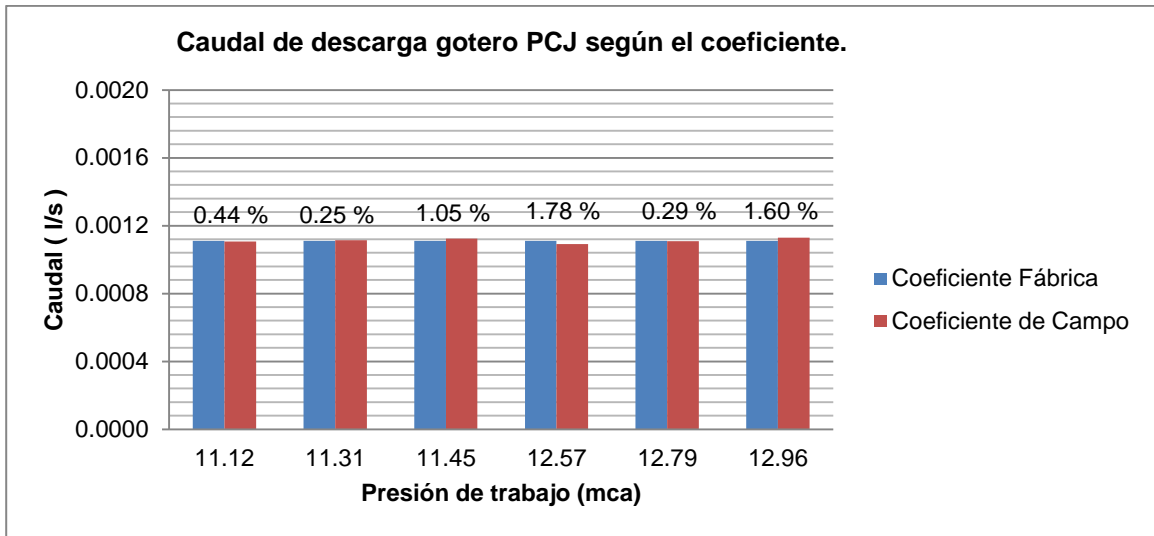


Figura 44. Comparación de caudales de descarga del gotero PCJ autocompensante.

Fuente. El Autor

Elaboración. El Autor, 2015.

En la figura 45 se observa la curva característica del emisor creada a partir de los datos obtenidos en campo y la curva característica propuesta por el fabricante. En ambos casos se observa una línea con tendencia horizontal que entrega un caudal constante con diferentes presiones de trabajo.

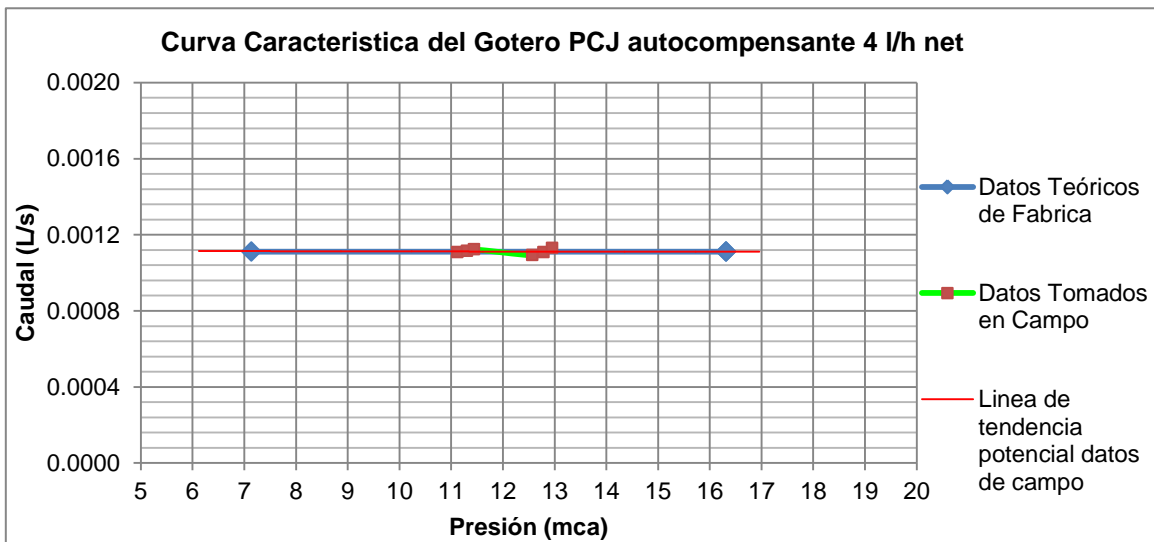


Figura 45. Comparación de curva características gotero PCJ autocompensante (datos fábrica y campo)

Fuente. El Autor

Elaboración. El Autor, 2015.

### 6.1.1.3. Turbo Key (Plus).

Los coeficientes de descarga  $K_e$  del gotero Turbo Key proporcionados por el fabricante y los obtenidos en campo presentan gran similitud, esto se aprecia en la tabla 2.29. La ecuación característica obtenida con los datos recolectados en campo para este gotero es la siguiente:

$$Q = 0.0004 \times P^{0.449} \quad \text{Ecuación 6.3}$$

Dónde:

- Q - Caudal de descarga del emisor, en l/s.
- P - Presión hidráulica de entrada del agua en el emisor, en mca.

En la ecuación característica se destaca que el exponente de descarga se aproxima a 0.5 por lo que este gotero se encuentra trabaja bajo un régimen turbulento. El exponente obtenido es muy similar al propuesto por el fabricante.

La tabla 6.3 presenta los datos de presión y caudal obtenidos en campo y los compara con los datos proporcionados por el fabricante. También presenta los coeficientes calculados con los datos anteriormente mencionados y la variación existente entre ellos.

Tabla 6.3. Coeficientes de descarga  $K_e$  del gotero Turbo Key.

<b>GOTERO TURBO KEY (Plus)</b>						
Presión fábrica (bar)	0.500	1.000	1.500	2.000	2.500	3.000
Presión fábrica (mca)	5.099	10.197	15.296	20.395	25.494	30.592
Caudal teórico fábrica (l/s)	8.06E-04	1.11E-03	1.36E-03	1.56E-03	1.72E-03	1.89E-03
Coeficiente $K_e$ teórico (l/s*mca)	3.69E-04	3.64E-04	3.68E-04	3.66E-04	3.64E-04	3.66E-04
Coeficiente $K_e$ teórico (l/h*mca)	1.327	1.312	1.323	1.317	1.310	1.316
Exponente de descarga (x)	<b>0.480</b>					
Presión en campo (mca)	11.186	11.417	11.573	12.768	12.970	13.155
Caudal en campo (l/s)	1.15E-03	1.17E-03	1.19E-03	1.22E-03	1.24E-03	1.26E-03
Coeficiente $K_e$ de campo (l/s*mca)	3.62E-04	3.64E-04	3.68E-04	3.60E-04	3.62E-04	3.65E-04
Coeficiente $K_e$ de fábrica (l/s*mca)	3.67E-04	3.67E-04	3.67E-04	3.67E-04	3.67E-04	3.67E-04
Coeficiente $K_e$ de campo (l/h*mca)	<b>1.304</b>	<b>1.309</b>	<b>1.324</b>	<b>1.294</b>	<b>1.302</b>	<b>1.315</b>
Coeficiente $K_e$ de fábrica (l/h*mca)	<b>1.322</b>	<b>1.322</b>	<b>1.321</b>	<b>1.320</b>	<b>1.320</b>	<b>1.320</b>
Porcentaje de variación (%)	<b>1.39</b>	<b>0.95</b>	<b>0.22</b>	<b>1.99</b>	<b>1.40</b>	<b>0.35</b>

Fuente. El Autor.

Elaboración. El Autor, 2015

La figura 46 representa los caudales de descarga emitido por el gotero a diferentes presiones de trabajo y los compara con la descarga planteada por el fabricante y se obtiene una variación mínima de 0.22% y máxima de 1.99% entre dichos caudales



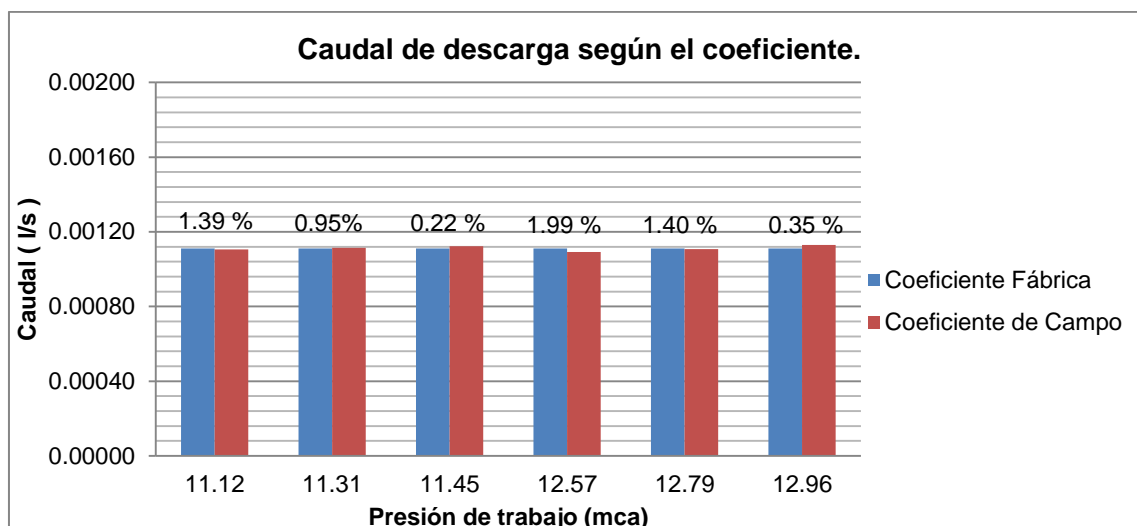


Figura 46. Comparación de caudales de descarga de gotero Turbo Key.  
Fuente. El Autor  
Elaboración. El Autor, 2015.

En la figura 47 se analiza la curva característica proporcionada por el fabricante y la curva de tendencia de los datos recolectados en campo. Como resultado se constata que ambas curvas son similares y presentan el mismo patrón de incremento potencial.

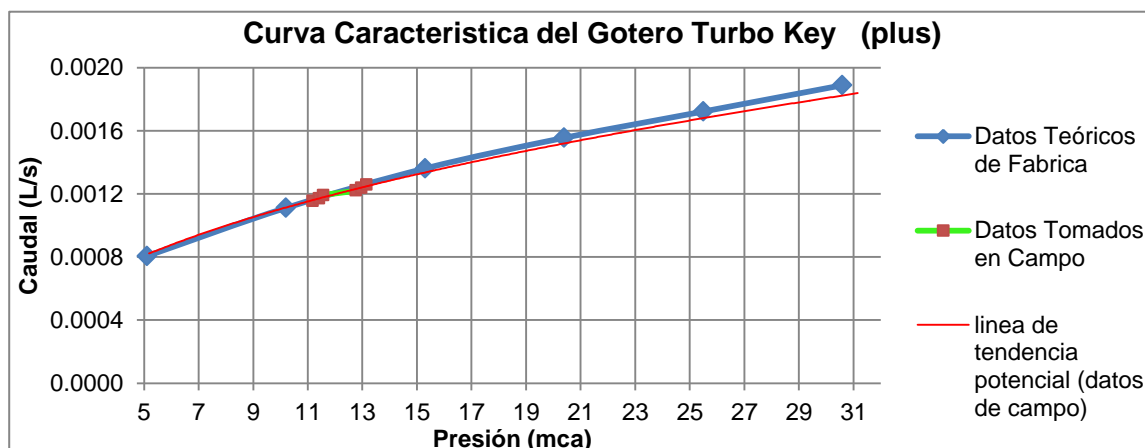


Figura 47. Comparación de curva características gotero Turbo Key (datos fábrica y campo)  
Fuente. El Autor  
Elaboración. El Autor, 2015.

## 6.1.2. Microaspersores.

### 6.1.2.1. GyroNet turbo 200 l/h (boquilla amarilla)

Las presiones y caudales obtenidos en campo que sirven para calcular los coeficientes de descarga  $K_e$  para el microaspersor GyroNet turbo se presentan en la tabla 6.4. Se aprecia gran similitud entre los valores obtenidos con los datos de fábrica y los datos resultantes en campo. La ecuación de este emisor es la siguiente:

$$Q = 0.0127 \times P^{0.490}$$

Ecuación 6.4

Dónde:

- Q - Caudal de descarga del emisor, en l/s.
- P - Presión hidráulica de entrada del agua en el emisor, en mca.

En la ecuación se destaca que el exponente de descarga se aproxima a 0.5 por lo cual actúa bajo un régimen turbulento, es decir se produce una salida de descarga de caudal gran velocidad.

Tabla 6.4. Coeficientes de descarga Ke del microaspersor GyroNet Turbo.

<b>(Microaspersor- GYRONET TURBO 200L/H amarillo)</b>						
Presión fábrica (bar)	1.5	2	2.5	3	3.5	
Presión fábrica (mca)	15.296	20.395	25.494	30.592	35.691	
Caudal teórico fábrica (l/s)	0.0475	0.05472	0.06139	0.06722	0.07278	
Coeficiente Ke teórico (l/s*mca)	0.0121	0.0121	0.0122	0.0122	0.0122	
Coeficiente Ke teórico (l/h*mca)	43.722	43.622	43.770	43.753	43.855	
Exponente de descarga (x)	<b>0.500</b>					
Presión en campo (mca)	14.856	15.007	15.222	34.972	36.032	36.786
Caudal en campo (l/s)	0.0468	0.0479	0.0488	0.0718	0.0727	0.0753
Coeficiente Ke de campo (l/s*mca)	0.0122	0.0124	0.0125	0.0121	0.0121	0.0124
Coeficiente Ke de fábrica (l/s*mca)	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122
Coeficiente Ke de campo (l/h*mca)	<b>43.743</b>	<b>44.490</b>	<b>45.060</b>	<b>43.730</b>	<b>43.626</b>	<b>44.716</b>
Coeficiente Ke de fábrica (l/h*mca)	<b>43.771</b>	<b>43.771</b>	<b>43.770</b>	<b>43.841</b>	<b>43.862</b>	<b>43.877</b>
Porcentaje de variación (%)	<b>0.06</b>	<b>1.62</b>	<b>2.86</b>	<b>0.25</b>	<b>0.54</b>	<b>1.88</b>

Fuente. El Autor.

Elaboración. El Autor, 2015

En la figura 48 se observa la variación entre los caudales de descarga obtenidos al aplicar los coeficientes anteriormente mencionados y se destaca una variación mínima de 0.06% y máxima de 2.86%

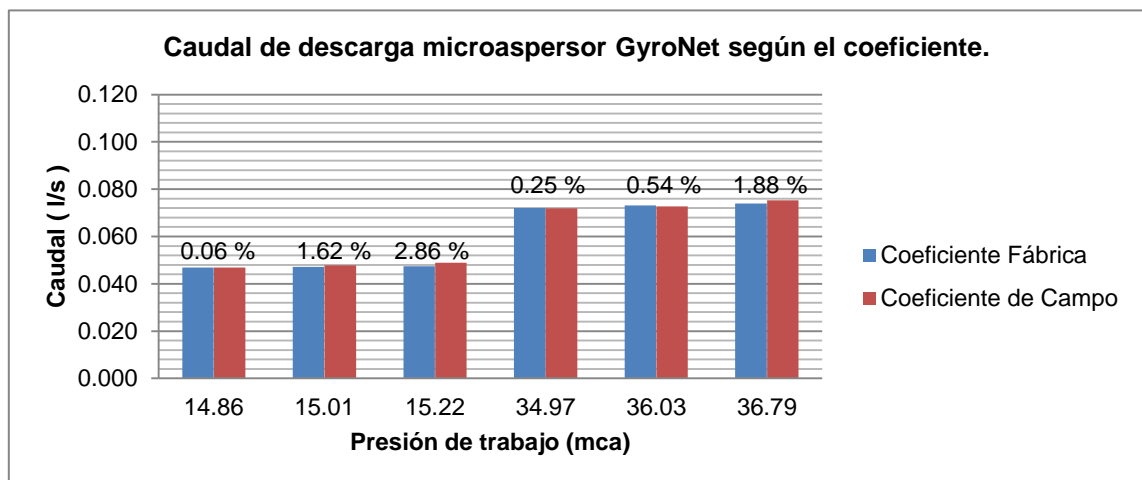


Figura 48. Comparación de caudales de descarga de microaspersor GyroNet Turbo.

Fuente. El Autor

Elaboración. El Autor, 2015.

La figura 49 presenta la curva característica y línea de tendencia de datos de campo, que representan la relación directamente proporcional existente entre el aumento de presión y el caudal de descarga

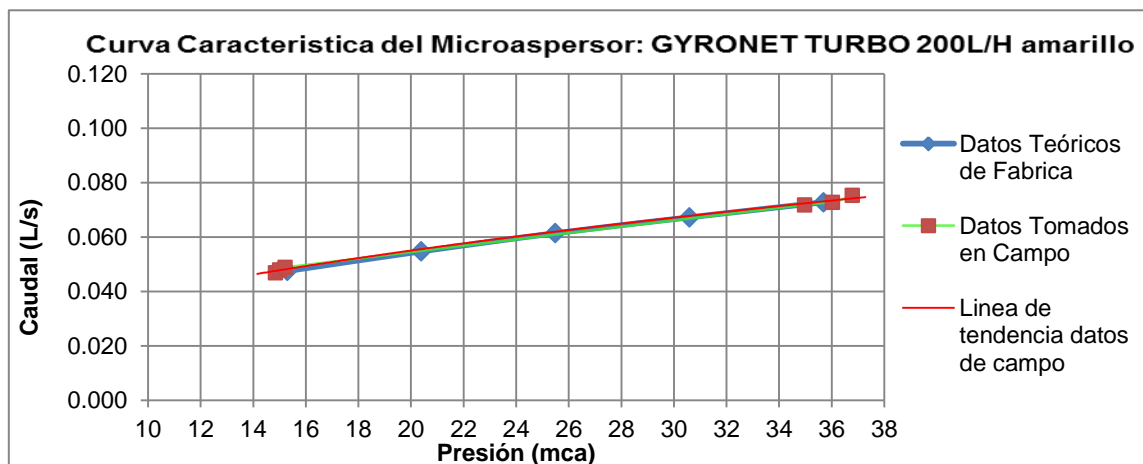


Figura 49. Comparación de curva características microaspersor GyroNet Turbo (datos fábrica y campo)

Fuente. El Autor

Elaboración. El Autor, 2015.

#### 6.1.2.2. Mini Woobler (1/2")

En la tabla 6.5 se aprecia los datos de fábrica y campo del microaspersor Mini Woobler y los coeficientes de descarga obtenidos con dichos datos. Se observa que los coeficientes presentan mayor variación si la presión de trabajo es muy baja o muy alta. Por esto es recomendable trabajar con un rango de presiones entre 1.5 bar y 2.5 bar. De los datos de presión y caudal obtenidos en campo se obtiene la ecuación característica para este emisor:

$$Q = 0.0154 \times P^{0.546} \quad \text{Ecuación 6.5}$$

Dónde:

- Q - Caudal de descarga del emisor, en l/s.
- P - Presión hidráulica de entrada del agua en el emisor, en mca.

La ecuación representa el caudal que se obtiene bajo diferentes presiones y se destaca que el exponente de descarga se aproxima a 0.5 por lo cual actúa bajo un régimen turbulento.

Tabla 6.5. Coeficientes de descarga Ke del microaspersor Mini Woobler ½”.

<b>(Microaspersor: MINI WOOLER ( 1/2" VERTICAL ))</b>						
Presión fábrica (bar)	<b>1</b>	<b>1.5</b>	<b>2</b>	<b>2.5</b>	<b>3</b>	
Presión fábrica (mca)	10.197	15.296	20.395	25.494	30.592	
Caudal teórico fábrica (l/s)	0.060	0.070	0.080	0.090	0.100	
Coeficiente Ke teórico (l/s*mca)	0.0188	0.0179	0.0177	0.0178	0.0181	
Coeficiente Ke teórico (l/h*mca)	67.641	64.433	63.772	64.170	65.087	
Exponente de descarga (x)	<b>0.500</b>					
Presión en campo (mca)	13.703	13.974	14.420	34.564	35.390	36.097
Caudal en campo (l/s)	0.0637	0.0649	0.0674	0.1045	0.1085	0.1113
Coeficiente Ke de campo (l/s*mca)	0.0172	0.0174	0.0177	0.0178	0.0182	0.0185
Coeficiente Ke de fábrica (l/s*mca)	0.0182	0.0181	0.0181	0.0172	0.0172	0.0171
Coeficiente Ke de campo (l/h*mca)	<b>61.982</b>	<b>62.536</b>	<b>63.866</b>	<b>63.970</b>	<b>65.673</b>	<b>66.712</b>
Coeficiente Ke de fábrica (l/h*mca)	<b>65.435</b>	<b>65.265</b>	<b>64.984</b>	<b>61.936</b>	<b>61.829</b>	<b>61.737</b>
Porcentaje de variación (%)	<b>5.57</b>	<b>4.36</b>	<b>1.75</b>	<b>3.18</b>	<b>5.85</b>	<b>7.46</b>

Fuente. El Autor.

Elaboración. El Autor, 2015

En la figura 50 se presenta la diferencia entre los caudales de descarga obtenidos en campo y los dados por el fabricante al operar con varias presiones de trabajo. Resulta una variación mínima de 1,75% y máxima de 7.46%.

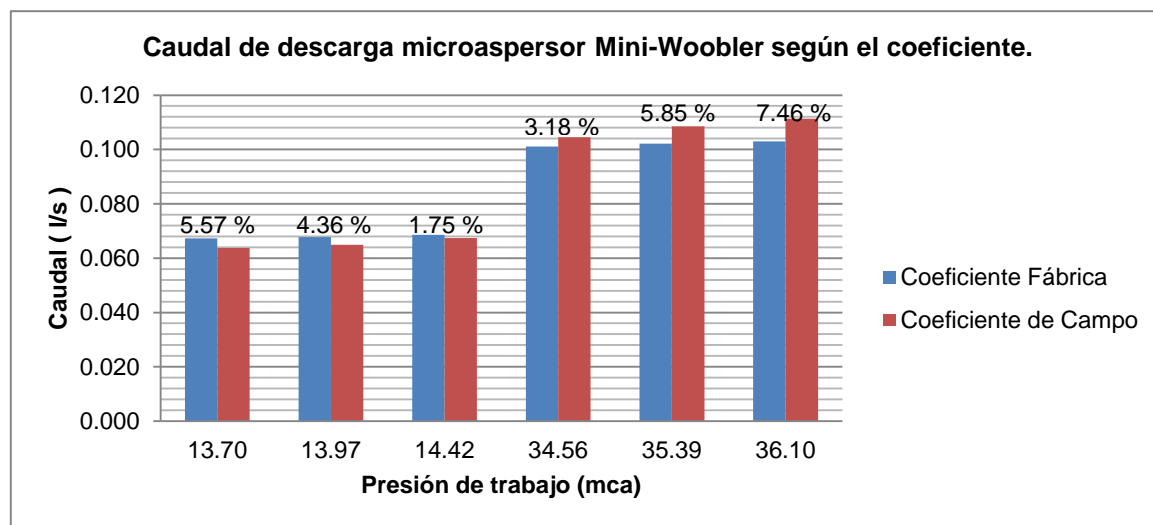


Figura 50. Comparación de caudales de descarga de microaspersor Mini Woobler.

Fuente. El Autor

Elaboración. El Autor, 2015.

Al analizar la curva característica y la línea de tendencia de los datos de campo, existe una variación significativa entre ellas, principalmente si la presión de trabajo del emisor es muy baja o alta, esto se muestra en la figura 51.

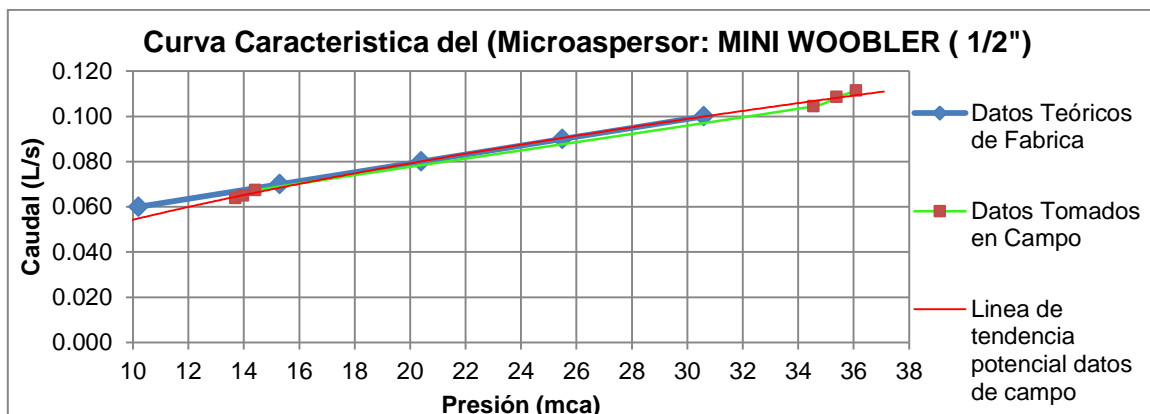


Figura 51. Comparación de curva características microaspersor Mini Woobler (datos fábrica y campo)

Fuente. El Autor

Elaboración. El Autor, 2015.

### 6.1.2.3. SpinNet 70 l/h (boquilla negra 30 cm)

Los coeficientes de descarga  $K_e$  y los datos de presión y caudal obtenidos en campo obtenidos para el microaspersor SpinNet se presentan en la tabla 6.6. Con estos datos se obtiene la ecuación de descarga para este emisor, que representa el caudal resultante al variar las presiones de trabajo.

$$Q = 0.0047 \times P^{0.434} \quad \text{Ecuación 6.6}$$

Dónde:

- Q - Caudal de descarga del emisor, en l/s.
- P - Presión hidráulica de entrada del agua en el emisor, en mca.

Tabla 6.6. Coeficientes de descarga  $K_e$  del microaspersor SpinNet.

<b>(Microaspersor- SPINNET ( NEGRO 70 L/H))</b>						
Presión fábrica (bar)	<b>2</b>	<b>2.5</b>	<b>3</b>			
Presión fábrica (mca)	20.395	25.494	30.592			
Caudal teórico fábrica (l/s)	0.0172	0.0194	0.0211			
Coeficiente $K_e$ teórico (l/s*mca)	0.0038	0.0039	0.0038			
Coeficiente $K_e$ teórico (l/h*mca)	13.729	13.864	13.741			
Exponente de descarga (x)	<b>0.500</b>					
Presión en campo (mca)	16.087	16.509	16.691	35.970	36.747	37.566
Caudal en campo (l/s)	0.0152	0.0161	0.0165	0.0220	0.0221	0.0235
Coeficiente $K_e$ de campo (l/s*mca)	0.0038	0.0040	0.0040	0.0037	0.0037	0.0038
Coeficiente $K_e$ de fábrica (l/s*mca)	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038
Coeficiente $K_e$ de campo (l/h*mca)	<b>13.613</b>	<b>14.281</b>	<b>14.540</b>	<b>13.206</b>	<b>13.146</b>	<b>13.803</b>
Coeficiente $K_e$ de fábrica (l/h*mca)	<b>13.631</b>	<b>13.626</b>	<b>13.631</b>	<b>13.611</b>	<b>13.592</b>	<b>13.572</b>
Porcentaje de variación (%)	<b>0.13</b>	<b>4.59</b>	<b>6.25</b>	<b>3.07</b>	<b>3.40</b>	<b>1.67</b>

Fuente. El Autor.

Elaboración. El Autor, 2015

En la figura 52 se aprecia el caudal de descarga del emisor a diferentes presiones basándose en su coeficiente  $K_e$  y la variación que existe entre ellos, se obtiene como resultado un valor mínimo 0.13% y máximo 6.25%

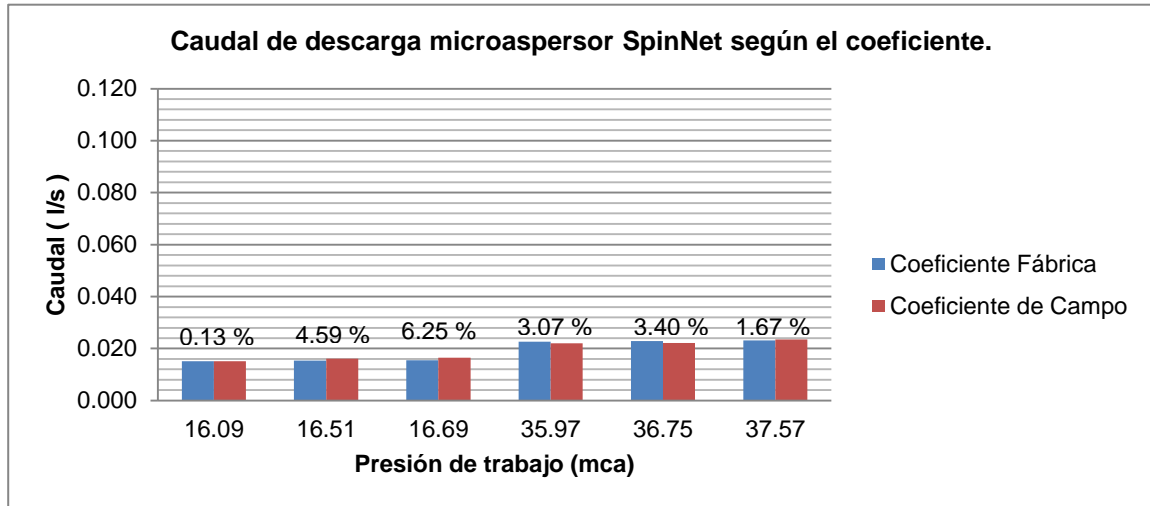


Figura 52. Comparación de caudales de descarga de microaspersor SpinNet negro.

Fuente. El Autor

Elaboración. El Autor, 2015.

En la figura 53 se analiza la curva característica y la línea de tendencia, quienes muestran cierta variación entre ellas, cabe recalcar que el fabricante recomienda una presión de trabajo de 20 a 30 mca, y es en este rango donde las curvas presentan mayor similitud entre ellas.

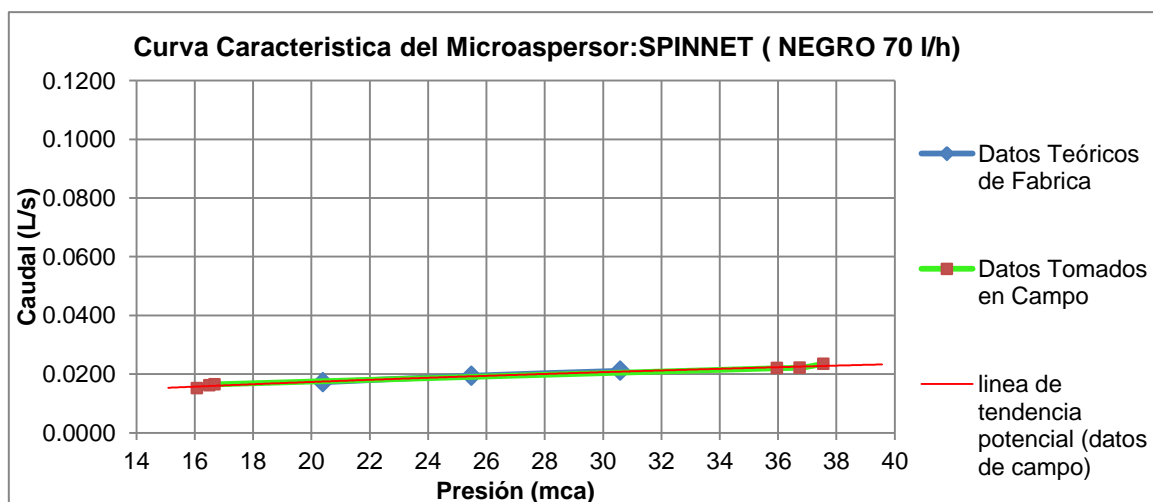


Figura 53. Comparación de curva características microaspersor SpinNet (datos fábrica y campo).

Fuente. El Autor

Elaboración. El Autor, 2015.

### 6.1.3. Aspersores.

#### 6.1.3.1. MegaNet (naranja 650 l/h).

Los coeficientes obtenidos para el aspersor MegaNet se presentan en la tabla 6.7. Estos son muy similares al comparar los obtenidos con datos de fábrica y con datos obtenido en campo. La ecuación característica del emisor es la siguiente:

$$Q = 0.0433 \times P^{0.456} \quad \text{Ecuación 6.7}$$

Dónde:

- Q - Caudal de descarga del emisor, en l/s.
- P - Presión hidráulica de entrada del agua en el emisor, en mca.

La ecuación permite obtener el caudal resultante para diferentes presiones de trabajo. El exponente de descarga resultante es cercano al propuesto por el fabricante.

Tabla 6.7. Coeficientes de descarga Ke del aspersor MegaNet.

<b>ASERSOR MEGANET (NARANJA 650 L/H)</b>						
Presión fábrica (bar)	<b>0.5</b>	<b>1</b>	<b>1.5</b>	<b>2</b>	<b>2.5</b>	<b>3</b>
Presión fábrica (mca)	5.099	10.197	15.296	20.395	25.494	30.592
Caudal teórico fábrica (l/s)	0.08417	0.11917	0.14583	0.16833	0.18833	0.20639
Coeficiente Ke teórico (l/s*mca)	0.0373	0.0373	0.0373	0.0373	0.0373	0.0373
Coeficiente Ke teórico (l/h*mca)	134.188	134.342	134.236	134.187	134.281	134.333
Exponente de descarga (x)	<b>0.500</b>					
Presión en campo (mca)	27.758	29.832	30.999	31.273	33.347	34.515
Caudal en campo (l/s)	0.1985	0.2034	0.2050	0.2105	0.2120	0.2207
Coeficiente Ke de campo (l/s*mca)	0.0377	0.0372	0.0368	0.0376	0.0367	0.0376
Coeficiente Ke de fábrica (l/s*mca)	0.0373	0.0373	0.0373	0.0373	0.0373	0.0373
Coeficiente Ke de campo (l/h*mca)	<b>135.637</b>	<b>134.037</b>	<b>132.553</b>	<b>135.511</b>	<b>132.186</b>	<b>135.222</b>
Coeficiente Ke de fábrica (l/h*mca)	<b>134.304</b>	<b>134.325</b>	<b>134.337</b>	<b>134.340</b>	<b>134.361</b>	<b>134.373</b>
Porcentaje de variación (%)	<b>0.98</b>	<b>0.21</b>	<b>1.35</b>	<b>0.86</b>	<b>1.65</b>	<b>0.63</b>

Fuente. El Autor.

Elaboración. El Autor, 2015

En la figura 54 se aprecia el caudal descargado y se observar el aumento del mismo según aumenta la presión de trabajo, al mismo tiempo que se compara la variación existente entre los caudales según el coeficiente usado, se obtiene un valor mínimo de 0.21% y un máximo de 1.65%

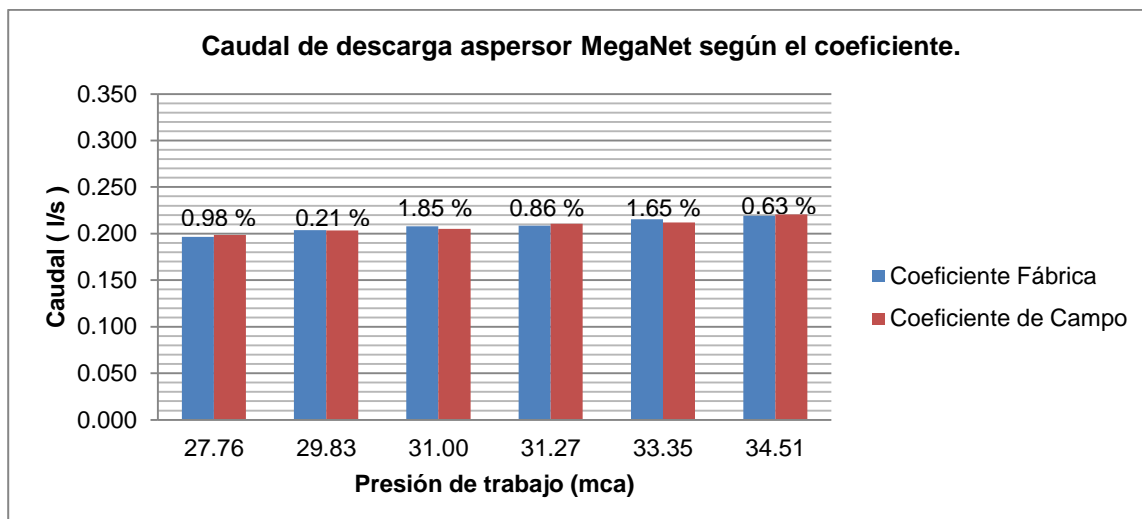


Figura 54. Comparación de caudales de descarga de aspensor MegaNet naranja.  
Fuente. El Autor  
Elaboración. El Autor, 2015.

Al analizar la curva característica y la línea de tendencia de datos de campo en la figura 55 se aprecia que ambas curvas son del tipo potencial con un incremento directamente proporcional entre el aumento de la presión y la descarga

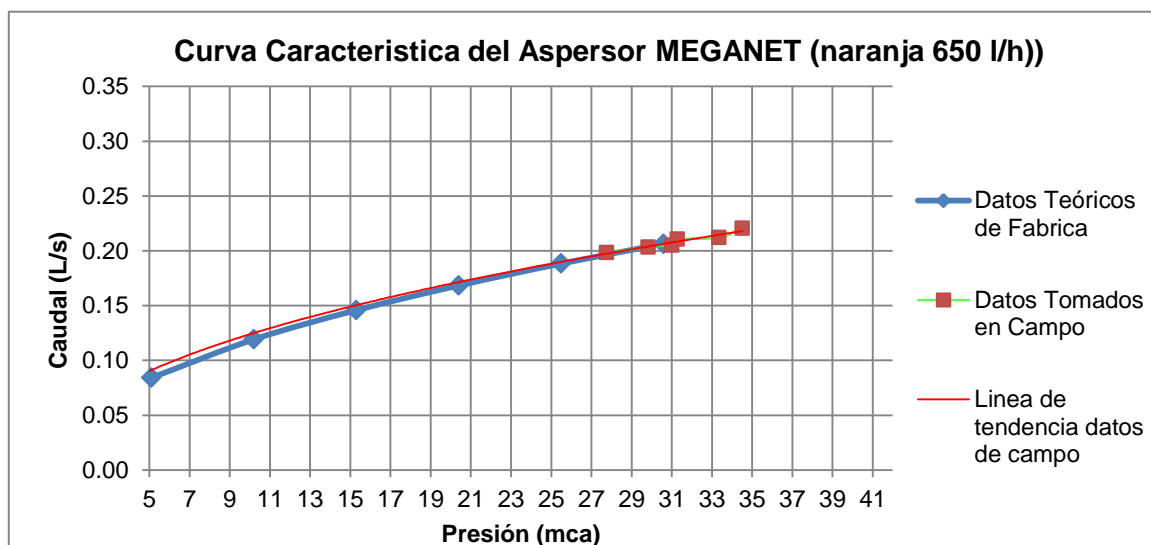


Figura 55. Comparación de curva características aspensor MegaNet (datos fábrica y campo)  
Fuente. El Autor  
Elaboración. El Autor, 2015.

### 6.1.3.2. Naan Maestro (azul).

La tabla 6.8 presenta los coeficientes resultantes para el aspensor Naan Maestro y los datos de presión y caudal obtenidos en campo y dados por el fabricante que se usan para obtener estos coeficientes. La ecuación característica de este emisor es:



$$Q = 0.0358 \times P^{0.536}$$

Ecuación 6.8

Dónde:

- Q - Caudal de descarga del emisor, en l/s.
- P - Presión hidráulica de entrada del agua en el emisor, en mca.

Tabla 6.8. Coeficientes de descarga Ke del aspersor Naan Maestro.

<b>ASPERSOR NAAN MAESTRO (AZUL)</b>						
Presión fábrica (bar)	<b>2.5</b>	<b>3</b>	<b>3.5</b>	<b>4</b>		
Presión fábrica (mca)	25.494	30.592	35.691	40.790		
Caudal teórico fábrica (l/s)	0.206	0.225	0.244	0.261		
Coeficiente Ke teórico (l/s*mca)	0.0407	0.0407	0.0409	0.0409		
Coeficiente Ke teórico (l/h*mca)	146.560	146.446	147.300	147.181		
Exponente de descarga (x)	<b>0.500</b>					
Presión en campo (mca)	27.526	28.626	29.776	32.096	33.198	34.346
Caudal en campo (l/s)	0.2107	0.2164	0.2250	0.2280	0.2305	0.2420
Coeficiente Ke de campo (l/s*mca)	0.0402	0.0404	0.0412	0.0402	0.0400	0.0413
Coeficiente Ke de fábrica (l/s*mca)	0.0407	0.0407	0.0407	0.0407	0.0408	0.0409
Coeficiente Ke de campo (l/h*mca)	<b>144.556</b>	<b>145.605</b>	<b>148.444</b>	<b>144.884</b>	<b>144.041</b>	<b>148.658</b>
Coeficiente Ke de fábrica (l/h*mca)	<b>146.515</b>	<b>146.490</b>	<b>146.465</b>	<b>146.698</b>	<b>146.883</b>	<b>147.075</b>
Porcentaje de variación (%)	<b>1.36</b>	<b>0.61</b>	<b>1.33</b>	<b>1.25</b>	<b>1.97</b>	<b>1.07</b>

Fuente. El Autor.

Elaboración. El Autor, 2015

En la figura 56 se observa el caudal de descarga del emisor según los coeficientes resultantes, se puede apreciar el incremento del mismo al aumentar la presión de trabajo y la variación existente entre ellos es de mínimo 0.61% y máximo 1.97%

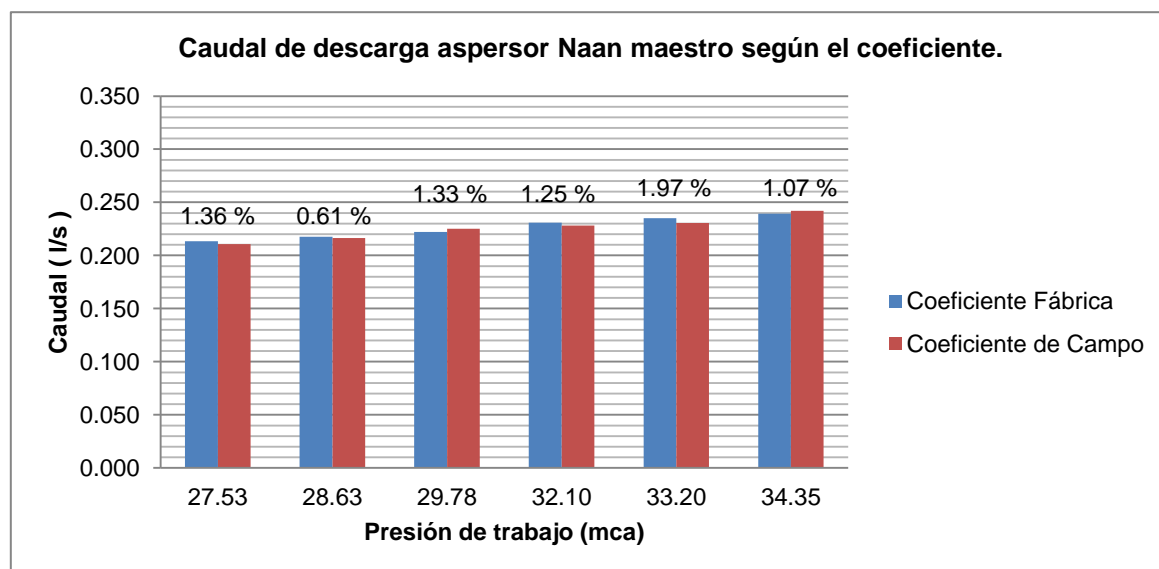


Figura 56. Comparación de caudales de descarga de aspersor Naan Maestro azul.

Fuente. El Autor

Elaboración. El Autor, 2015.

La figura 57 muestra la curva característica y la línea de tendencia de los datos de campo, en la gráfica se aprecia un incremento aproximadamente lineal por parte de las curvas en relación al aumento de presión de trabajo y caudal de descarga.

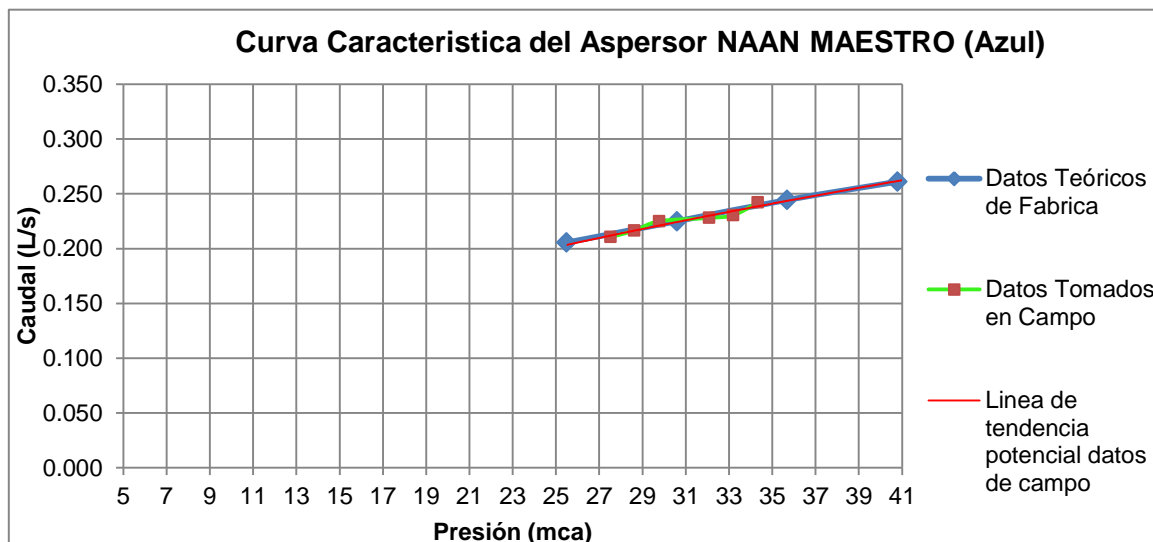


Figura 57. Comparación de curva características aspersor Naan Maestro (datos fábrica y campo)  
Fuente. El Autor  
Elaboración. El Autor, 2015.

### 6.1.3.3. Naan 5022 (azul).

La tabla 6.9 muestra los datos de presión y caudal obtenidos en campo y proporcionados por el catálogo del fabricante. Estos datos permiten calcular los coeficientes obtenidos para el aspersor Naan 5022 y la variación que existe entre ellos. La ecuación característica resultante para este emisor es la siguiente:

$$Q = 0.0416 \times P^{0.548} \quad \text{Ecuación 6.8}$$

Dónde:

- Q - Caudal de descarga del emisor, en l/s.
- P - Presión hidráulica de entrada del agua en el emisor, en mca.

La ecuación permite obtener el caudal resultante para diferentes presiones de trabajo y el exponente de descarga permite conocer que el aspersor trabaja en un régimen de flujo turbulento.

Tabla 6.9. Coeficientes de descarga Ke del aspersor Naan 5022.

<b>ASPERSOR NAAN 5022 (AZUL)</b>						
Presión fábrica (bar)	<b>2.5</b>	<b>3</b>	<b>3.5</b>	<b>4</b>		
Presión fábrica (mca)	25.494	30.592	35.691	40.790		
Caudal teórico fábrica (l/s)	0.2472	0.2750	0.2944	0.3194		
Coeficiente Ke teórico (l/s*mca)	0.0490	0.0497	0.0493	0.0500		
Coeficiente Ke teórico (l/h*mca)	176.268	178.990	177.430	180.062		
Exponente de descarga (x)	<b>0.500</b>					
Presión en campo (mca)	25.888	26.149	27.139	31.512	31.774	32.764
Caudal en campo (l/s)	0.2477	0.2503	0.2537	0.2750	0.2766	0.2837
Coeficiente Ke de campo (l/s*mca)	0.0487	0.0489	0.0487	0.0490	0.0491	0.0496
Coeficiente Ke de fábrica (l/s*mca)	0.0490	0.0491	0.0492	0.0496	0.0496	0.0495
Coeficiente Ke de campo (l/h*mca)	<b>175.239</b>	<b>176.180</b>	<b>175.298</b>	<b>176.361</b>	<b>176.678</b>	<b>178.411</b>
Coeficiente Ke de fábrica (l/h*mca)	<b>176.479</b>	<b>176.618</b>	<b>177.147</b>	<b>178.708</b>	<b>178.629</b>	<b>178.325</b>
Porcentaje de variación (%)	<b>0.71</b>	<b>0.25</b>	<b>1.05</b>	<b>1.33</b>	<b>1.10</b>	<b>0.05</b>

Fuente. El Autor.

Elaboración. El Autor, 2015

En la figura 58 se observa los caudales descargados por el emisor a diferentes presiones de trabajo, basándose en los coeficientes obtenidos en la tabla 6.9 y al realizar un análisis de estos datos se presenta una variación mínima de 0.05% y máxima de 1.33 % entre los coeficientes de fábrica y de campo

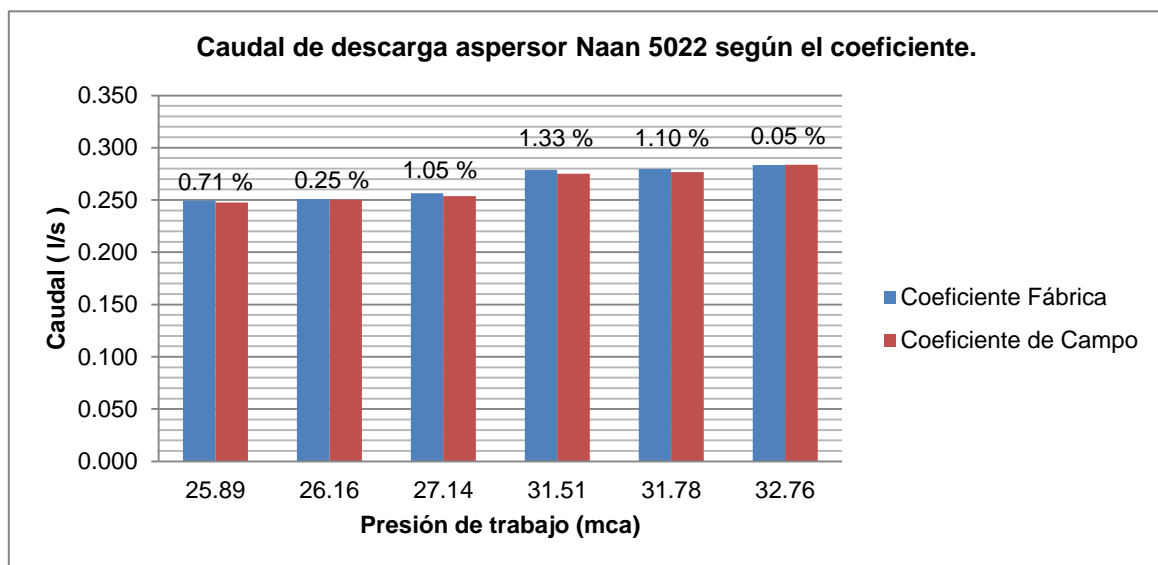


Figura 58. Comparación de caudales de descarga de aspersor Naan 5022 azul.

Fuente. El Autor

Elaboración. El Autor, 2015.

La figura 59 muestra la curva característica del emisor y la línea de tendencia de los datos obtenidos en campo, en esta figura se puede apreciar el incremento directamente proporcional que existe entre el aumento de presión de trabajo y el aumento del caudal de descarga.

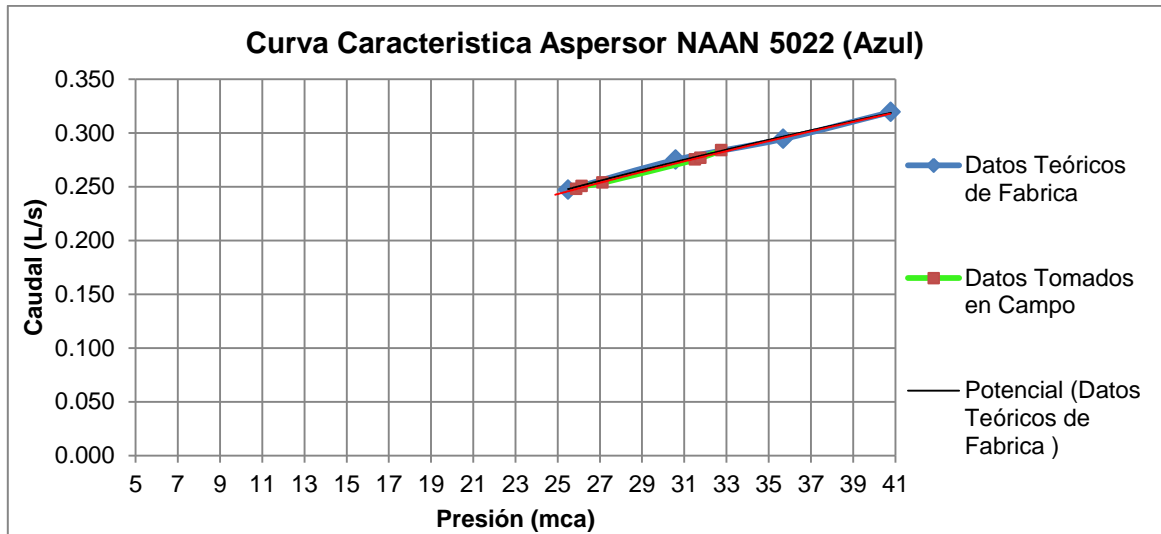


Figura 59. Comparación de curva características aspersor Naan 5022 (datos fábrica y campo)  
Fuente. El Autor  
Elaboración. El Autor, 2015.

## 6.2. Comparación entre emisores.

### 6.2.1. Goteros.

En la figura 60 se presenta los tipos de goteros analizados y el porcentaje máximo y mínimo de variación entre los coeficientes de descarga  $K_e$  obtenidos con los datos de fábrica y los proporcionados por la presente investigación. Al realizar un análisis de los mismos se determina que el gotero PCJ autocompensante es el que presenta menor variación en los datos proporcionados por el fabricante. Este se comporta de manera más fiable y eficiente en cuanto a sus características hidráulicas en campo.

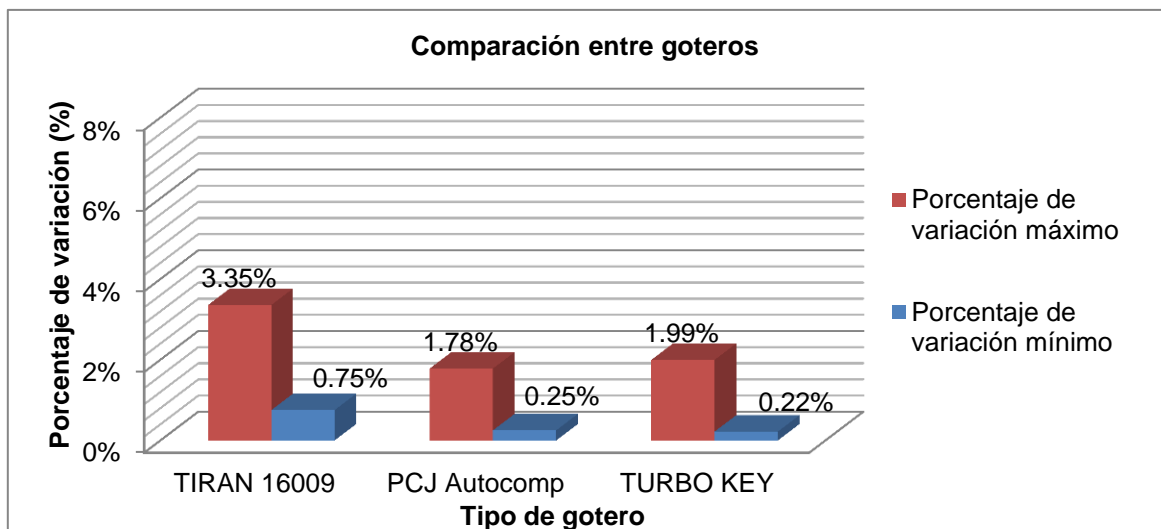


Figura 60. Comparación entre goteros según el porcentaje de variación de los coeficientes obtenidos en la presente investigación.  
Fuente. El Autor  
Elaboración. El Autor, 2015.

### 6.2.2. Microaspersores.

En la figura 61 se presenta los tipos de microaspersores analizados y el porcentaje máximo y mínimo de variación entre los coeficientes de descarga  $K_e$  obtenidos con los datos de fábrica y datos de campo. Al realizar un análisis de esta variación se observa porcentajes de variación altos en comparación con los obtenidos en los goteros. Se determina que el microaspersor GyroNet turbo es el más eficiente dentro de los tres analizados ya que presenta el menor porcentaje de variación.

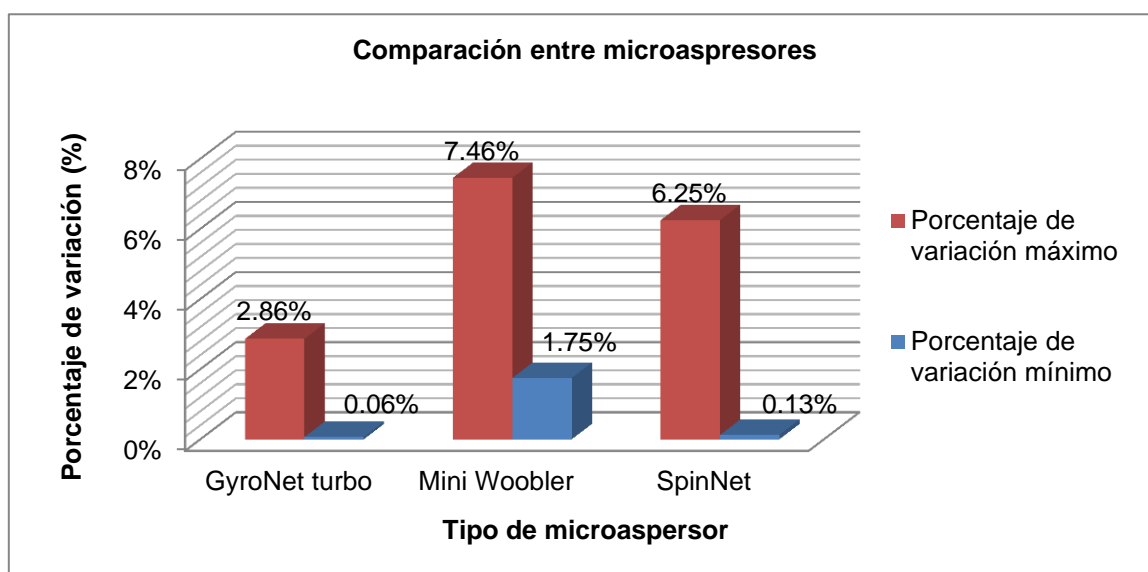


Figura 61. Comparación entre microaspersores según el porcentaje de variación de los coeficientes obtenidos en la presente investigación.

Fuente. El Autor

Elaboración. El Autor, 2015.

### 6.2.3. Aspersores.

En la figura 62 se muestra el porcentaje de variación máximo y mínimo que cada tipo de aspersor presenta frente a sus coeficientes de descarga y se realiza una comparación entre ellos. Al realizar el análisis se determina que el aspersor Naan 5022 es el que presenta menor variación entre los datos obtenidos en campo y los datos proporcionados por el fabricante.

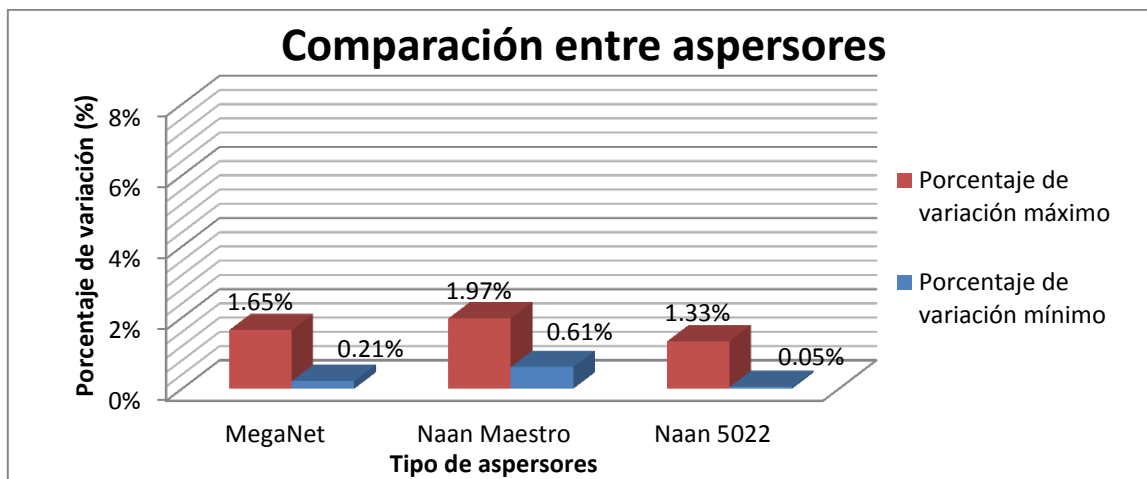


Figura 62. Comparación entre aspersores según el porcentaje de variación de los coeficientes obtenidos en la presente investigación.

Fuente. El Autor

Elaboración. El Autor, 2015.

### 6.3. Resultados de la modelación en Epanet 2.0 de Coeficientes de descarga.

Se realiza la modelación de los coeficientes de descarga  $K_e$ , en el software Epanet 2.0. La modelación se la realiza con los microaspersores y aspersores, se omite los goteros debido a que su caudal es muy bajo y no es representativo para el software Epanet. Las modelaciones realizadas se presentan en el Anexo 2.

#### 6.3.1. Caudal resultante de los microaspersores en Epanet.

Con los resultados de la modelación en Epanet se procede a realizar una comparación con los datos obtenidos en campo. Como se muestra en la tabla 6.10, al analizar los resultados se aprecia que la variación entre los dos caudales es mínima por lo que se afirma que la modelación realizada con los coeficientes de descarga calculados representa de manera correcta el comportamiento hidráulico de los emisores en campo.

Tabla 6.10. Comparación de caudales de descarga medido en campo y modelado en Epanet 2.0 de los microaspersores seleccionados.

Comparación de caudales (Campo vs Epanet 2.0)				
Tipo de Microaspersor	Presión de trabajo (mca)	Caudal en campo (L/s)	Caudal en Epanet (l/s)	Variación
GyroNet turbo	15.01	0.048	0.05	4.44%
	36.03	0.073	0.07	4.29%
Mini Woobler	13.97	0.065	0.06	7.60%
	35.39	0.109	0.11	1.36%
SpinNet	16.51	0.016	0.02	6.94%
	36.75	0.022	0.02	9.65%

Fuente. El Autor.

Elaboración. El Autor, 2015

### 6.3.2. Caudal resultante de los aspersores en Epanet.

En la tabla 2.37 se presenta la comparación entre los caudales medidos en campo y los resultantes en la modelación en el software Epanet. Estos datos presentan un variación mínima entre ellos, lo que permite comprobar que los coeficientes de descarga Ke calculados son aptos para ser usados en modelaciones para obtener resultados fiables de las características hidráulicas de una red de riego.

Tabla 6.11. Comparación de caudales de descarga medido en campo y modelado en Epanet 2.0 de los aspersores seleccionados.

Comparación de caudales (Campo vs Epanet 2.0)				
Tipo de Microaspersor	Presión de trabajo (mca)	Caudal en campo (L/s)	Caudal en Epanet (l/s)	Variación
MegaNet	29.83	0.20	0.2	1.65%
	33.35	0.21	0.21	0.96%
Naan Maestro	28.63	0.22	0.21	2.96%
	33.20	0.23	0.23	0.23%
Naan 5022	26.15	0.250	0.25	0.10%
	31.77	0.277	0.28	1.21%

Fuente. El Autor.

Elaboración. El Autor, 2015

### 6.4. Comparación entre el caudal de descarga real vs caudal medido con sensometría.

Se presenta tablas y gráficas comparativas entre el caudal real descargado por el emisor y el medido mediante el equipo electrónico de adquisición de datos. Para corroborar que los datos medidos en campo son fiables y representativos en la presente investigación.

#### 6.4.1. Goteros

##### 6.4.1.1. Tiran 16009 1.5 l/h 0.3m ml

La tabla 6.12 presenta los datos de los caudales medidos con los sensores electrónicos y los compara con el caudal real descargado por el emisor para obtener la variación entre ellos.

Tabla 6.12. Comparación entre caudal real y caudal medido con sensometría del gotero Tiran 16009.

Datos de Ensayo						
Ensayo número	Presión (mca)	Volumen (litros)	Tiempo (segundos)	Caudal Real (L/s)	Caudal Sensor (L/s)	Variación (%)
1	7.126	0.250	600	0.0004167	0.0004157	0.24%
2	14.065	0.310	600	0.000517	0.0005155	0.23%
3	21.119	0.360	600	0.0006	0.0005990	0.17%
4	28.243	0.400	600	0.0007	0.0007	0.23%

Fuente. El Autor.

Elaboración. El Autor, 2015.

La figura 63 muestra la variación existente entre el caudal real descargado por el emisor y el medido usando los sensores electrónicos. La variación es muy pequeña lo que permite afirmar que los datos de caudal y presión obtenidos en campo son fiables y representativos para la presente investigación.

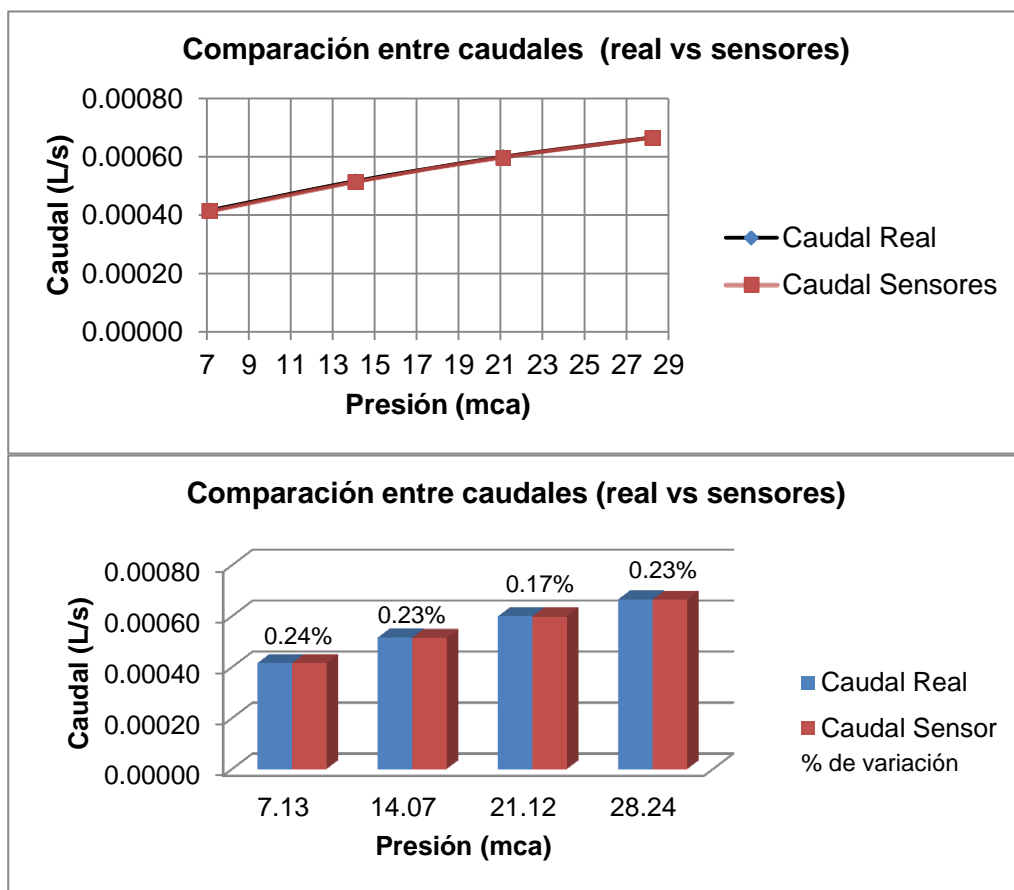


Figura 63. Comparación de caudales (real vs sensores) gotero Tiran 16009

Fuente. El Autor

Elaboración. El Autor, 2015



### 6.4.1.2. PCJ autocompensante 4 (L/h)

En la tabla 6.13 se muestra los datos de caudal descargado para diferentes presiones de trabajo obtenido en el laboratorio. Estos datos permiten calcular la variación existente entre la medición realizada con los sensores electrónicos y el caudal real.

Tabla 6.13. Comparación entre caudal real y caudal medido con sensometría del gotero PCJ autocompensante.

Datos de Ensayo						
Ensayo número	Presión (mca)	Volumen (litros)	Tiempo (segundos)	Caudal Real (L/s)	Caudal Sensor (L/s)	Variación (%)
1	10.744	0.395	600	0.000658	0.000665	1.08%
2	18.608	0.400	600	0.000667	0.000669	0.31%
3	28.137	0.400	600	0.000667	0.000665	0.20%

Fuente. El Autor.

Elaboración. El Autor, 2015.

Como se observa en la figura 64 la variación existente entre el caudal real y el caudal medido con sensometría es menor a 1.1%. Esto permite afirmar que los datos de caudal y presión obtenidos en campo son fiables y representativos para la presente investigación.

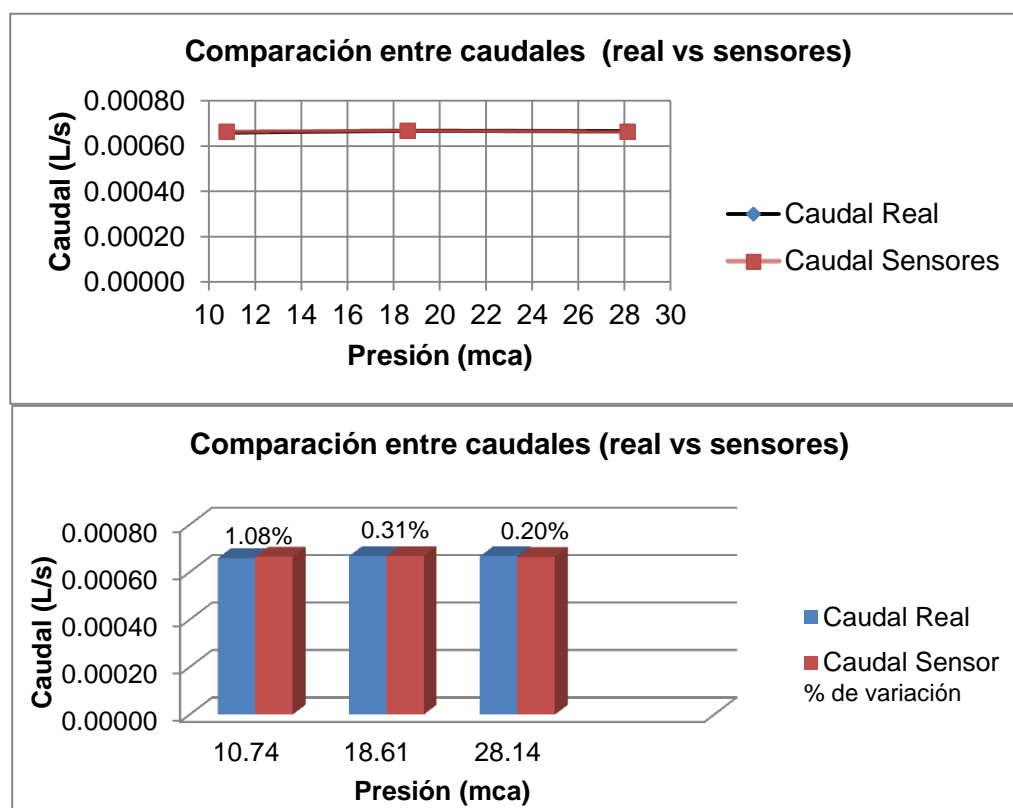


Figura 64. Comparación de caudales (real vs sensores) gotero PCJ

Fuente. El Autor

Elaboración. El Autor, 2015

### 6.4.1.3. Turbo Key (Plus).

La tabla 6.14 muestra los datos del caudal real medido en laboratorio y lo compara con el caudal medido con sensores eléctricos. Para la obtención de estos caudales se trabaja con diferentes presiones con el fin de tener una mayor cantidad de datos que proporcionen un resultado significativo.

Tabla 6.14. Comparación entre caudal real y caudal medido con sensometría del gotero Turbo Key.

Datos de Ensayo						
Ensayo	Presión	Volumen	Tiempo	Caudal Real	Caudal Sensor	Variación
número	(mca)	(litros)	(segundos)	(L/s)	(L/s)	(%)
1	11.493	0.410	600	0.000683	0.000674	1.42%
2	19.601	0.940	600	0.001567	0.001582	0.99%
3	28.137	1.110	600	0.001850	0.001832	0.97%

Fuente. El Autor.

Elaboración. El Autor, 2015.

La figura 65 presenta el porcentaje de variación existente entre el caudal medido con sensores electrónicos y el caudal real descargado por el emisor. La variación entre estos caudales es baja. Esto garantiza que los datos medidos con los sensores eléctricos son confiables.

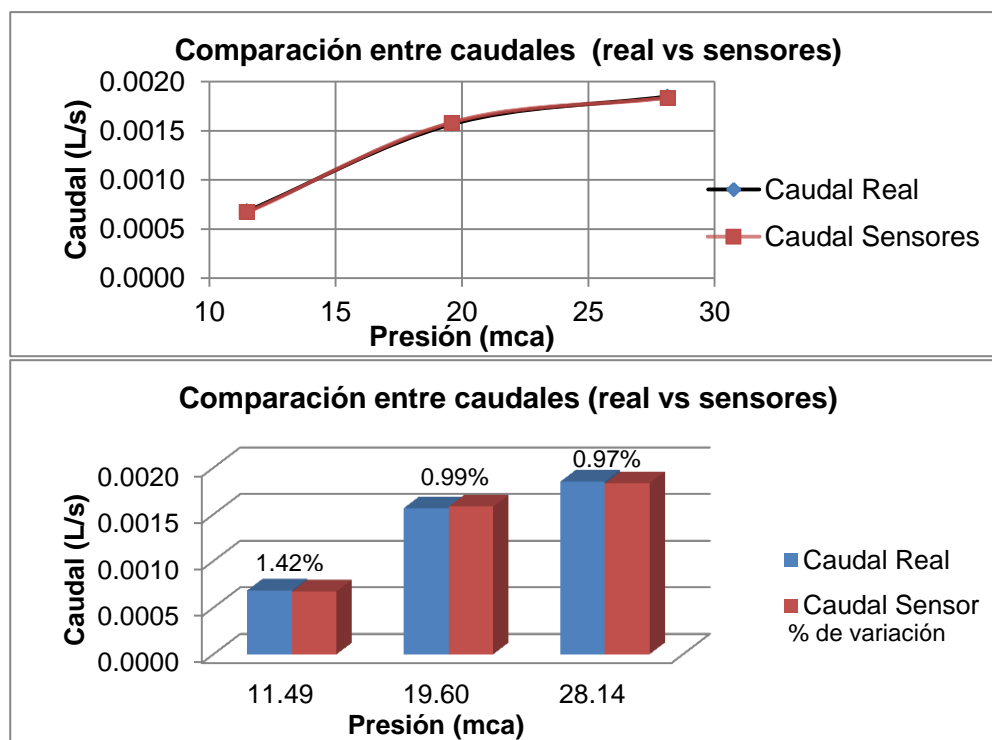


Figura 65. Comparación de caudales (real vs sensores) gotero Turbo Key

Fuente. El Autor

Elaboración. El Autor, 2015

## 6.4.2. Microaspersores.

### 6.4.2.1. GyroNet turbo 200 l/h (boquilla amarilla)

La tabla 6.15 presenta los datos de presiones y caudales obtenidos en laboratorio. Con estos datos se obtiene la variación que existe entre el caudal real descargado por el emisor y el medido por los sensores eléctricos. La máxima variación es de 1.86 %.

Tabla 6.15. Comparación entre caudal real y caudal medido con sensometría del microaspersor GyroNet turbo.

Datos de Ensayo						
Ensayo número	Presión (mca)	Volumen (litros)	Tiempo (segundos)	Caudal Real (L/s)	Caudal Sensor (L/s)	Variación (%)
1	7.176	19.500	600	0.0325	0.0331	1.86%
2	13.593	28.200	600	0.0470	0.0466	0.76%
3	21.187	34.400	600	0.0573	0.0578	0.82%
4	27.763	41.200	600	0.0687	0.0691	0.61%

Fuente. El Autor.

Elaboración. El Autor, 2015.

La figura 66 refleja la variación que existe entre el caudal real emitido por este microaspersor y el caudal medido con los sensores electrónico.

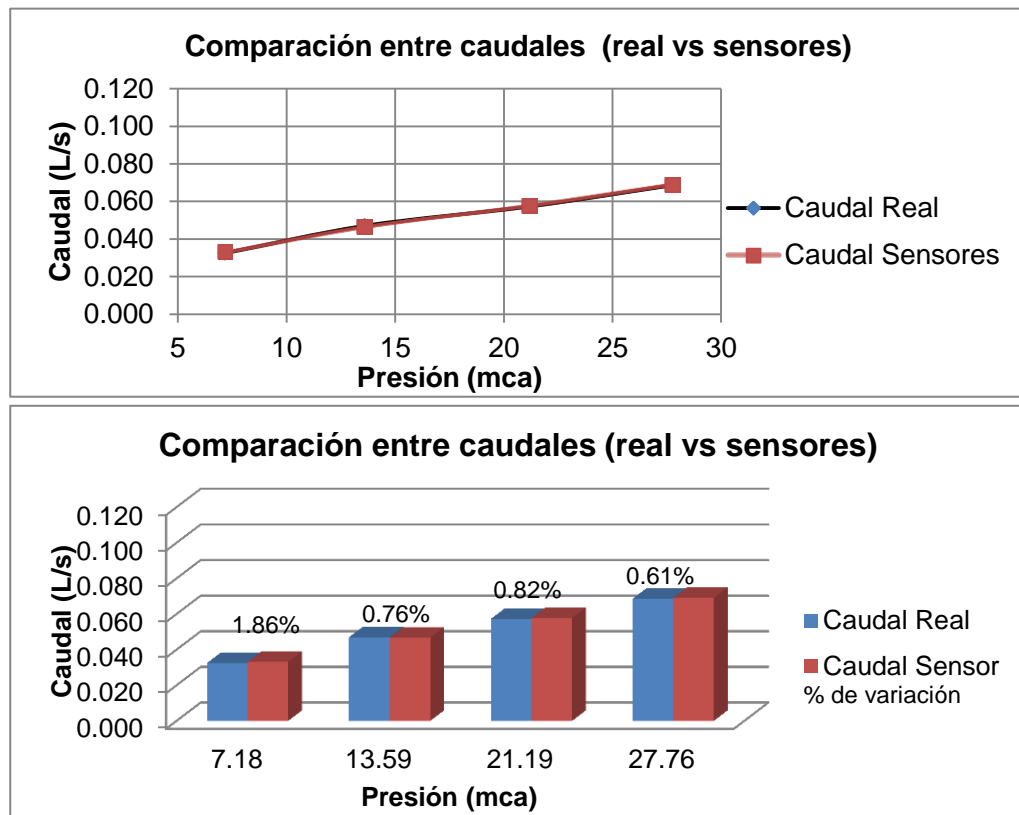


Figura 66. Comparación de caudales (real vs sensores) microaspersor GyroNet

Fuente. El Autor

Elaboración. El Autor, 2015

### 6.4.2.2. Mini Woobler (1/2")

Los datos de presión y caudal obtenidos en el laboratorio que permiten calcular la variación que existe entre la medición realizada por los sensores electrónicos y el caudal real descargado por el microaspersor Mini Woobler se presentan en la tabla 6.16

Tabla 6.16. Comparación entre caudal real y caudal medido con sensometría del microaspersor Mini Woobler.

Datos de Ensayo						
Ensayo	Presión	Volumen	Tiempo	Caudal Real	Caudal Sensor	Variación
número	(mca)	(litros)	(segundos)	(L/s)	(L/s)	(%)
1	7.073	31.700	600	0.0528	0.0529	0.07%
2	14.729	46.600	600	0.0777	0.0781	0.60%
3	21.068	52.800	600	0.0880	0.0890	1.16%
4	26.848	61.800	600	0.1030	0.1038	0.75%

Fuente. El Autor.

Elaboración. El Autor, 2015.

En la figura 67 se representa el caudal descargado por el microaspersor a diferentes presiones de trabajo. La relación entre el incremento de presión y el aumento de caudal descargado es directamente proporcional.

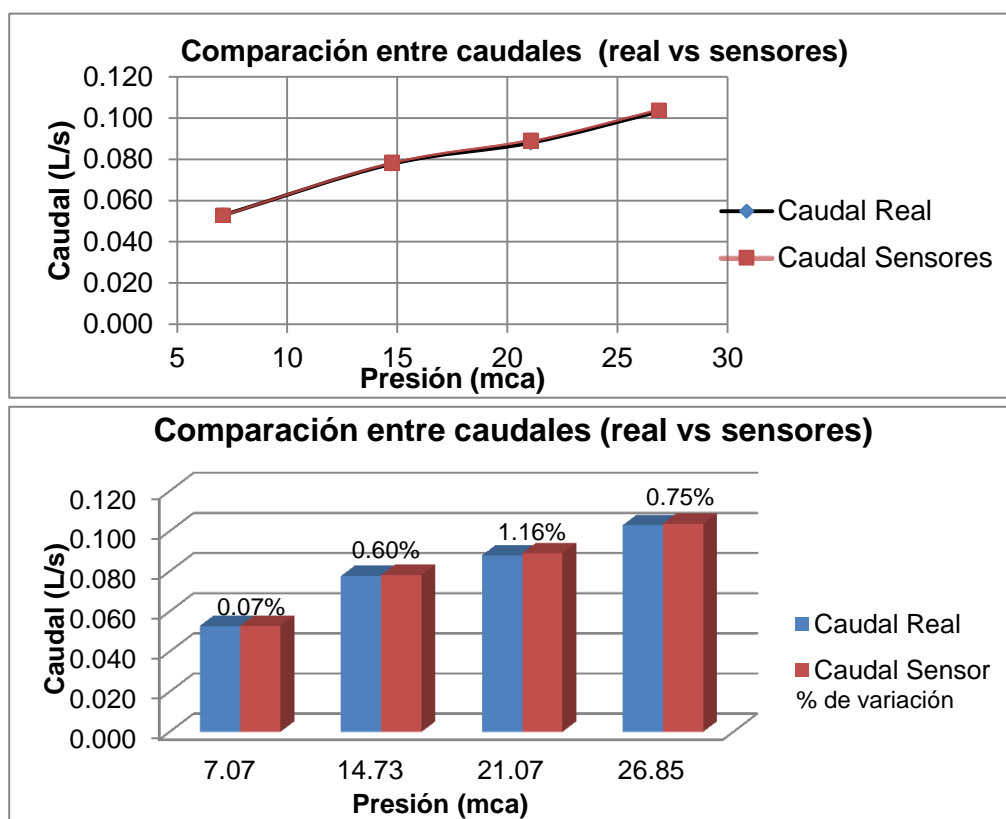


Figura 67. Comparación de caudales (real vs sensores) microaspersor Mini Woobler

Fuente. El Autor

Elaboración. El Autor, 2015

### 6.4.2.3. SpinNet 70 l/h (boquilla negra 30 cm)

En la tabla 6.17 se encuentran los datos de caudal real y caudal medido con sensor electrónico que descarga el emisor a diferentes presiones. Estos datos se obtienen de los ensayos realizados en el laboratorio.

Tabla 6.17. Comparación entre caudal real y caudal medido con sensometría del microaspersor SpinNet.

Datos de Ensayo						
Ensayo número	Presión (mca)	Volumen (litros)	Tiempo (segundos)	Caudal Real (L/s)	Caudal Sensor (L/s)	Variación (%)
1	7.378	6.500	600	0.0108	0.0110	1.52%
2	14.026	8.800	600	0.0147	0.0148	1.12%
3	20.927	10.950	600	0.0183	0.0183	0.23%
4	28.205	12.600	600	0.0210	0.0208	0.96%

Fuente. El Autor.

Elaboración. El Autor, 2015.

En la figura 68 se representa de forma gráfica los caudales presentes en la tabla 6.17 y la variación que existe entre ellos. Esta variación tiene un porcentaje máximo de 1.52% para este emisor, lo que verifica que los datos obtenidos con los sensores electrónicos son confiables y representativos para la investigación.

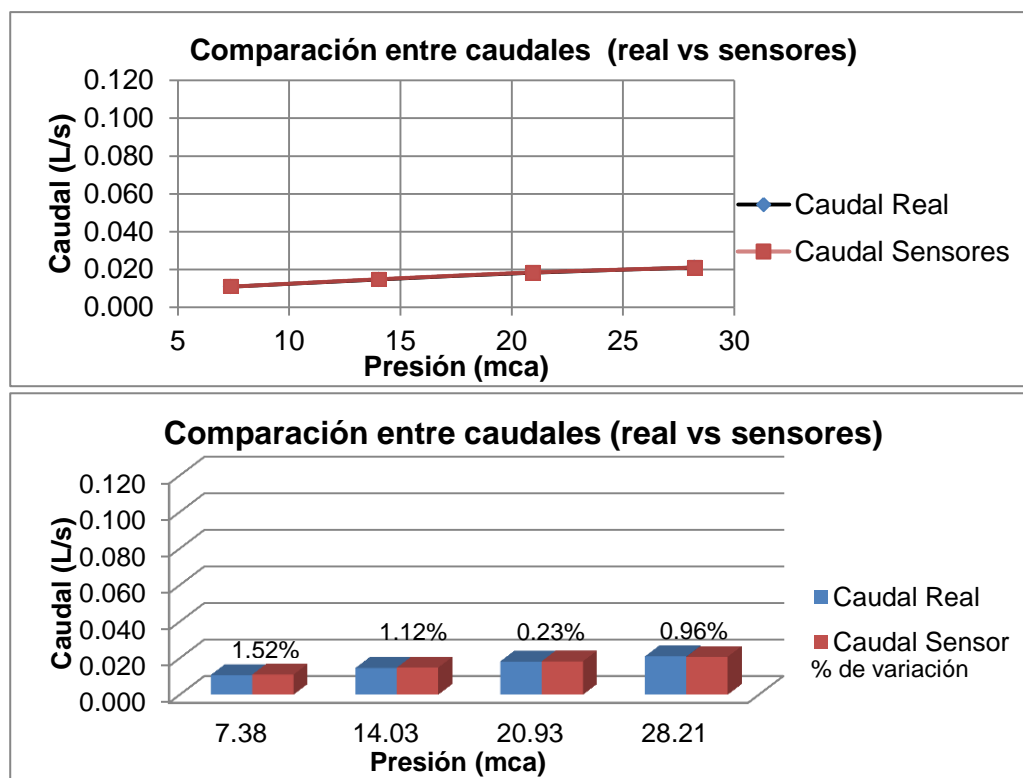


Figura 68. Comparación de caudales (real vs sensores) microaspersor SpinNet

Fuente. El Autor

Elaboración. El Autor, 2015

### 6.4.3. Aspersores.

#### 6.4.3.1. MegaNet (naranja 650 l/h).

La tabla 6.18 presenta los datos de presión y caudales obtenidos en el ensayo de laboratorio. Estos datos permiten determinar la variación que existe al realizar la medición con sensores electrónicos del caudal descargado por el emisor.

Tabla 6.18. Comparación entre caudal real y caudal medido con sensometría del aspersor MegaNet

Datos de Ensayo						
Ensayo número	Presión (mca)	Volumen (litros)	Tiempo (segundos)	Caudal Real (L/s)	Caudal Sensor (L/s)	Variación (%)
1	5.737	52.200	600	0.0870	0.0872	0.27%
2	12.954	81.600	600	0.1360	0.1370	0.74%
3	21.658	106.600	600	0.1777	0.1769	0.44%
4	23.464	116.400	600	0.1940	0.1917	1.16%

Fuente. El Autor.

Elaboración. El Autor, 2015.

La figura 69 representa el caudal real y el caudal medido con el sensor electrónico y el porcentaje de variación que existe entre estos caudales. La variación que existe es muy baja y confirma que los datos obtenidos con el emisor son fiables.

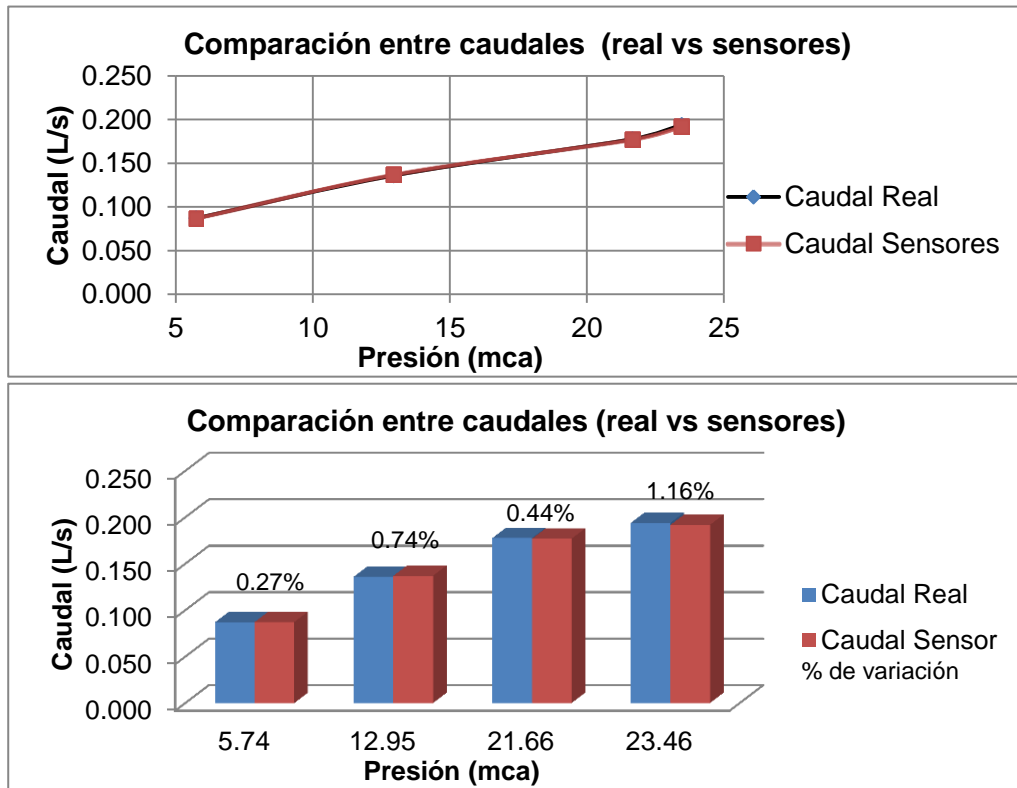


Figura 69. Comparación de caudales (real vs sensores) aspersor MegaNet

Fuente. El Autor

Elaboración. El Autor, 2015

### 6.4.3.2. Naan Maestro (azul).

La tabla 6.19 presenta los caudales medidos con el sensor electrónico y los caudales reales que descarga el aspersor Naan Maestro al trabajar bajo diferentes presiones.

Tabla 6.19. Comparación entre caudal real y caudal medido con sensometría del aspersor Naan Maestro

Datos de Ensayo						
Ensayo	Presión	Volumen	Tiempo	Caudal Real	Caudal Sensor	Variación
número	(mca)	(litros)	(segundos)	(L/s)	(L/s)	(%)
1	7.295	83.000	600	0.1383	0.1401	1.26%
2	14.893	96.200	600	0.1603	0.1617	0.86%
3	19.216	136.000	600	0.2267	0.2276	0.42%
4	20.920	142.900	600	0.2382	0.2375	0.26%

Fuente. El Autor.

Elaboración. El Autor, 2015.

En la figura 70 se representa la variación que existe entre el caudal real descargado y el medido con el sensor de presión. El porcentaje de variación máximo presente en este ensayo es de 1.26 % y garantiza la fiabilidad de los datos obtenidos con el sensor.

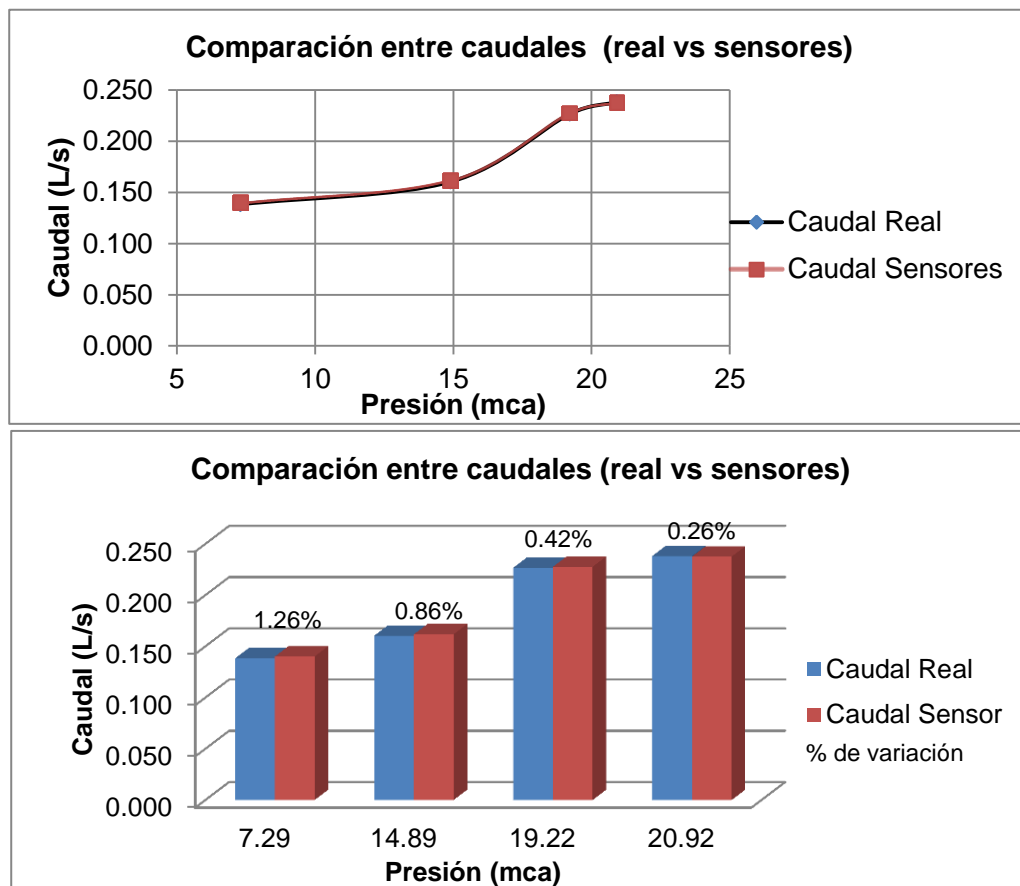


Figura 70. Comparación de caudales (real vs sensores) aspersor Naan Maestro

Fuente. El Autor

Elaboración. El Autor, 2015

### 6.4.3.3. Naan 5022 (azul).

En la tabla 6.20 se encuentran los datos de presión y caudal obtenidos en laboratorio, estos tienen la finalidad de determinar la variación que existe entre los datos medidos con el sensor electrónico y el caudal real descargado por el aspersor Naan 5022.

Tabla 6.20. Comparación entre caudal real y caudal medido con sensometría del aspersor MegaNet

Datos de Ensayo						
Ensayo	Presión	Volumen	Tiempo	Caudal Real	Caudal Sensor	Variación
número	(mca)	(litros)	(segundos)	(L/s)	(L/s)	(%)
1	6.832	86.000	600	0.1433	0.1435	0.15%
2	9.160	98.000	600	0.1633	0.1649	0.95%
3	20.452	144.850	600	0.2414	0.2425	0.44%
4	20.900	147.000	600	0.2450	0.2465	0.63%

Fuente. El Autor.

Elaboración. El Autor, 2015.

La figura 71 presenta de forma gráfica los caudales descargados por el emisor bajo diferentes presiones de trabajo. También demuestra la variación que existe entre el caudal medido con el sensor electrónico y el caudal real.

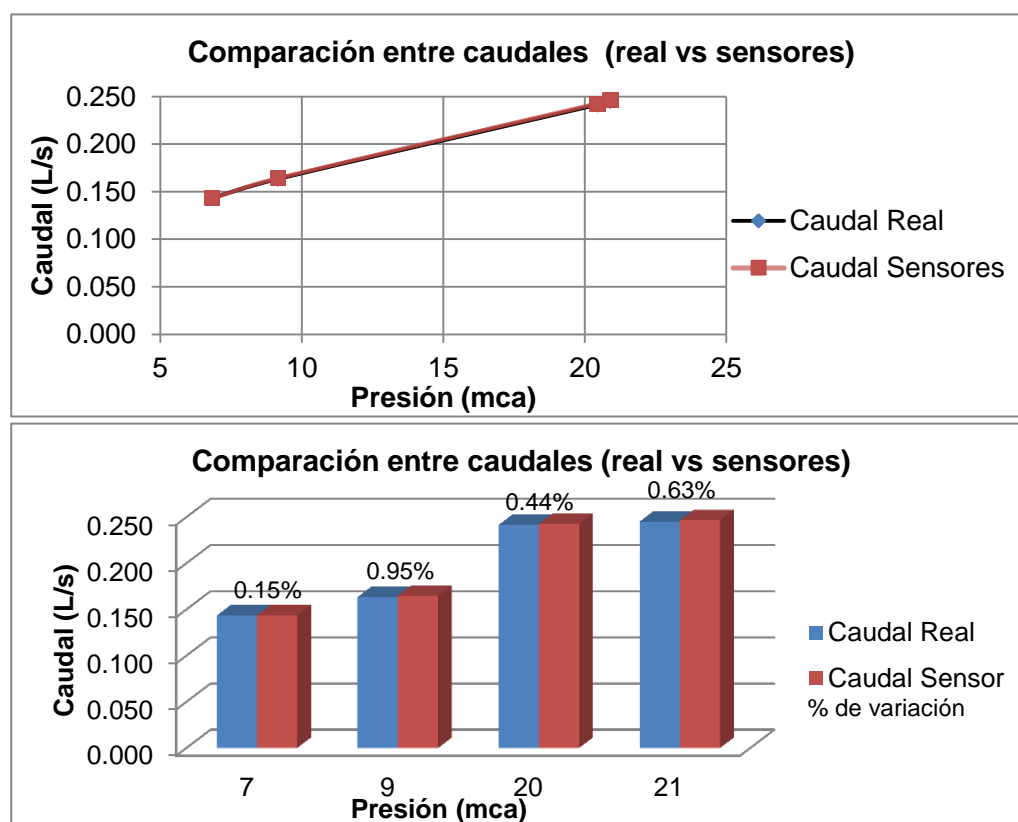


Figura 71. Comparación de caudales (real vs sensores) aspersor MegaNet

Fuente. El Autor

Elaboración. El Autor, 2015



## CONCLUSIONES

- La presente investigación determina los coeficientes de descarga  $K_e$  de los emisores de riego seleccionados, a partir de datos de presión y caudal obtenidos con sensores electrónicos de una parcela de estudio sometida a las condiciones propias de una red de riego normal. En el cálculo de los coeficientes intervienen factores como la calidad de agua, temperatura, presión atmosférica, etc.; que provocan una variación en los datos proporcionados por el fabricante y proporcionan coeficientes más realistas y representativos.
- Se ha evaluado nueve tipos de emisores de riego clasificados en tres grupos; (tres aspersores, tres microaspersores y tres goteros). Se determina que los emisores con un menor porcentaje de variación entre las especificaciones técnicas provenientes de catálogos y los datos obtenidos en campo son los siguientes: aspersor Naan 5022 con un porcentaje máximo de 1.33%, microaspersor GyroNet con un valor máximo de 2.86% y gotero PCJ autocompensante con un variación máxima de 1.78%.
- Mediante las presiones y caudales medidos en campo se generan las curvas características de los emisores, que permiten obtener la ecuación de descarga del emisor. En las ecuaciones resultantes se aprecia que los aspersores y microaspersores tienen un coeficiente de descarga cercano a 0.5 lo que indica que estos emisores trabajan bajo un régimen de flujo turbulento, es decir la emisión del caudal descargado se realiza a gran velocidad y con un caudal considerable en comparación con los goteros.
- El gotero PCJ, al ser de tipo autocompensante presenta una curva característica distinta a las de los otros emisores. Esto se debe a su exponente de descarga, al ser cercano a cero su curva característica respectiva es una línea recta constante en el rango de presiones de trabajo.
- Para obtener una modelación realista en Epanet 2.0 es necesario usar el coeficiente y exponente de descarga obtenido en la ecuación de descarga del emisor. Estos permiten simular el funcionamiento del emisor bajo diferentes presiones de trabajo.
- Los datos obtenidos en campo con el sistema electrónico de adquisición de datos son corroborados en laboratorio mediante el caudal de descarga real del emisor. El análisis presentan una variación menor al 2 % en todos los emisores, lo que permite garantizar que los datos de campo usados en la presente investigación son fiables y representativos.

## RECOMENDACIONES

- Es importante tomar en cuenta la variación existente entre el caudal de descarga propuestos por el fabricante y el caudal real descargado en campo, porque al usar un gran número de emisores en un sistema de riego, la variación mencionada puede provocar un incremento en el caudal de descarga para el cual el sistema de riego no está diseñado.
- Al considerar la calidad de agua, en los sistemas de riego, se debe tomar en cuenta las partículas de tamaño considerable existentes. Si no se cuenta con un buen sistema de filtración, las partículas provocan la obstrucción de los emisores, alteraran el caudal de descarga y su correcto funcionamiento.
- Es importante analizar las pérdidas de carga localizadas provenientes de los accesorios y los equipos de medición electrónica y análoga, porque éstos provocan variaciones significativas en la presión de trabajo de la red de riego.
- En la adquisición de datos de campo mediante el equipo electrónico es recomendable confirmar constantemente los valores obtenidos mediante sistemas análogos de medición. Este equipo se pueden descalibrar por variaciones bruscas en la corriente que los alimenta.

## BIBLIOGRAFÍA

**ANEI, AC.** (1990). "Sistemas de riego a Presión". Asociación nacional de especialistas en irrigación, A.C., V congreso nacional de irrigación cd. Obregón, 1990.

**Calvache, Calderón, Coello, & Pacheco.** (2006). "Estudio de Distribución Técnica del agua del ramal Chichipata (zona 1), del Sistema de Riego Tumbaco, Pichincha". Revista Rumipamba. Vol. XX – No.1. p41.

**Calvache, M.** (2010). "Manejo del agua de riego en zonas de ladera". Revista EIDOS.

**Colebrook, C.F.** (1939). "Turbulent flow in pipes, with particular reference to the transition region between the smooth and rough pipe laws". Journal of the ICE, 1939, 11(4), 133-156.

**Elriego.com.** (2012). "Riego por aspersión", elriego.com, 2012 © Copyright. Recuperado de: <http://info.elriego.com/riego-por-aspersion/>.

**Elriego.com.** (2012). "Principios y tipos de riego localizado". elriego.com, 2012 © Copyright. Recuperado de: <http://info.elriego.com/portfolios/principios-y-tipos-de-riego-localizado/>

**Fernández, R.** (2010). "Manual de riego para agricultores". Sevilla: Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca, 2010.

**Hydroenvironment,** (2015). "¿Qué es el riego por micro-aspersión?". Hydroenvironment © 2015. Recuperado de: [http://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main\\_page=page&id=220](http://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=220).

**Keller & Karmeli.** (1974). "Trickle irrigation design parameters". Transactions of the ASAE, 1974, 17.

**Liotta, M.** (2005). "Los sistemas de riego por goteo y micro-aspersión." INTA-EEA San Juan.

**López, Hernández, Pérez & Gonzales,** (1992). "Riego Localizado". Ediciones Mundi-Prensa. pp. 19-37

**MAGAP,** (2013). "Plan Nacional de Riego y Drenaje proyectado hasta 2027". Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca del Ecuador.

**Martínez, M** (1993). "Hidráulica aplicada a proyectos de riego" .1ª Edición. Editorial. EDITUM. 1993.

**MSSI**, (2012). "Riego por aspersión en el medio urbano". Ministerio de Seguridad Servicios Sociales e Igualdad. Gobierno de España. 2012.

**Muñoz R**, (2004). "Caracterización hidráulica de cuatro marcas de emisores para riego localizado comercializados en Chile". Universidad de Talca. Talca – Chile 2004.

**Payán, S.** (2009). "Sistemas de riego presurizados y monitoreo de la humedad del suelo". INIFAP-CEMEXI

**Pereira, Juan Valero, Picornell & Tarjuelo.** (2010). "El riego y sus Tecnologías". Traducción de la edición portuguesa "Necessidades de Água e Métodos de Rega" Editorial Europa-América en Lisboa en 2004. Traducida por CREA-UCLM. 2010.

**Pizarro, F.** (1990). "Riegos Localizados de alta frecuencia: goteo, micro aspersión, exudación". 2ª Edición. Editorial. Mundi - Prensa. 1990.

**Saldarriaga J**, (2007). "Hidráulica de tuberías, abastecimiento de agua, redes, riegos. Editorial Alfa omega Colombiana S. A, Colombia. 2007

**Turégano J**, (2014). "Modelización del comportamiento hidráulico de una subunidad de riego localizado". Tesis Doctoral. 2014.

**Villavicencio J**, (2014). "Datos de Loja". Recuperado de: <http://www.lojanos.com>.

## **ANEXOS**

## A. Anexo 1. Diseño y análisis de la red de riego a ser implementada en la parcela de estudio.

Tabla A1. Diseño y análisis de la red para goteo y microaspersión (método del gradiente hidráulico)

Nudo	Línea	Long. (m)	Long. Acu	cota	J*	q (l/s)	D	D	Velocidad	¿Cumple velocidad?	$\lambda$ (f)	Perdidas continuas Hf L (m)	accesorios	Hfi Total (m)	Perdidas al nudo	Carga en nudo	Cumple presión ?
						demanda	(mm) Teórico	(mm) intern N.									
Embalse				2164.67													
1	L1	83.6	83.7	2150.35	-0.0679	0.184	22.50	25	0.4	ok	0.03290	0.79	0.052	0.84	0.84	13.48	Cumple
G	L2	4.5	88.16	2149.45	-0.0542	0.184	22.50	18	0.7	ok	0.03024	0.20	0.110	0.31	0.31	14.91	Cumple
G1	L3	3	91.16	2149.37	-0.0516	0.0044	5.07	14	0.029	ok	0.09459	0.00	0.000	0.00	0.31	14.99	Cumple
G2	L4	3	94.16	2149.46	-0.0509	0.0033	4.52	14	0.022	ok	0.10709	0.00	0.000	0.00	0.31	14.90	Cumple
G3	L5	3	97.16	2149.3	-0.0477	0.0022	3.84	14	0.014	ok	0.12896	0.00	0.000	0.00	0.31	15.06	Cumple
G4	L6	3	100.16	2149.09	-0.0441	0.0011	2.91	14	0.007	ok	0.18330	0.00	0.000	0.00	0.31	15.27	Cumple
M	L7	8.01	96.17	2147.24	-0.0267	0.180	22.28	18	0.8	ok	0.02949	0.33	0.036	0.37	0.68	16.75	Cumple
M1	L8	3.61	99.78	2146.91	-0.0224	0.180	22.28	15	1.1	ok	0.02855	0.36	0.000	0.36	1.05	16.71	Cumple
M2	L9	3.61	103.38	2147.04	-0.0229	0.120	18.94	15	0.7	ok	0.03229	0.18	0.000	0.18	0.87	16.76	Cumple
M3	L10	3.61	106.98	2147.1	-0.0227	0.060	14.36	15	0.3	ok	0.03910	0.06	0.000	0.06	1.10	16.47	Cumple

Fuente. El autor

Elaboración. El autor 2015.

Tabla A2. Diseño y análisis de la red para aspersión (método del gradiente hidráulico)

Nudo	Línea	Long. (m)	Long. Acu	cota	J*	q (l/s)	D (mm) Teori.	D (mm)	Velocidad	Cumple velocidad	Hf L (m)	accesorios	Hfi Total (m)	Z + hfi al nudo	Carga en nudo	Cumple presión ?
						demanda		intern								
Embalse				2144.8												
Embalse + Bomba				2174.8												
C	L10	3.72	3.7	2145.3	1.2204	0.550	34.83	<b>22</b>	1.4	ok	0.44	0.309	0.75	2146.04	28.79	Cumple
C1	L11	4.802	8.52	2145.3	0.5351	0.550	34.83	<b>22</b>	1.4	ok	0.57	0.064	0.63	2145.90	28.93	Cumple
C2	L12	4.802	13.32	2144.9	0.3670	0.275	26.40	<b>22</b>	0.7	ok	0.17	0.040	0.21	2145.78	29.05	Cumple

Fuente. El autor

Elaboración. El autor 2015

**B. Anexo 2. Modelación en Epanet 2.0 de los coeficientes de descarga Ke obtenidos.**

- **Microaspersor GyroNet turbo (1 microaspersor a gravedad)**

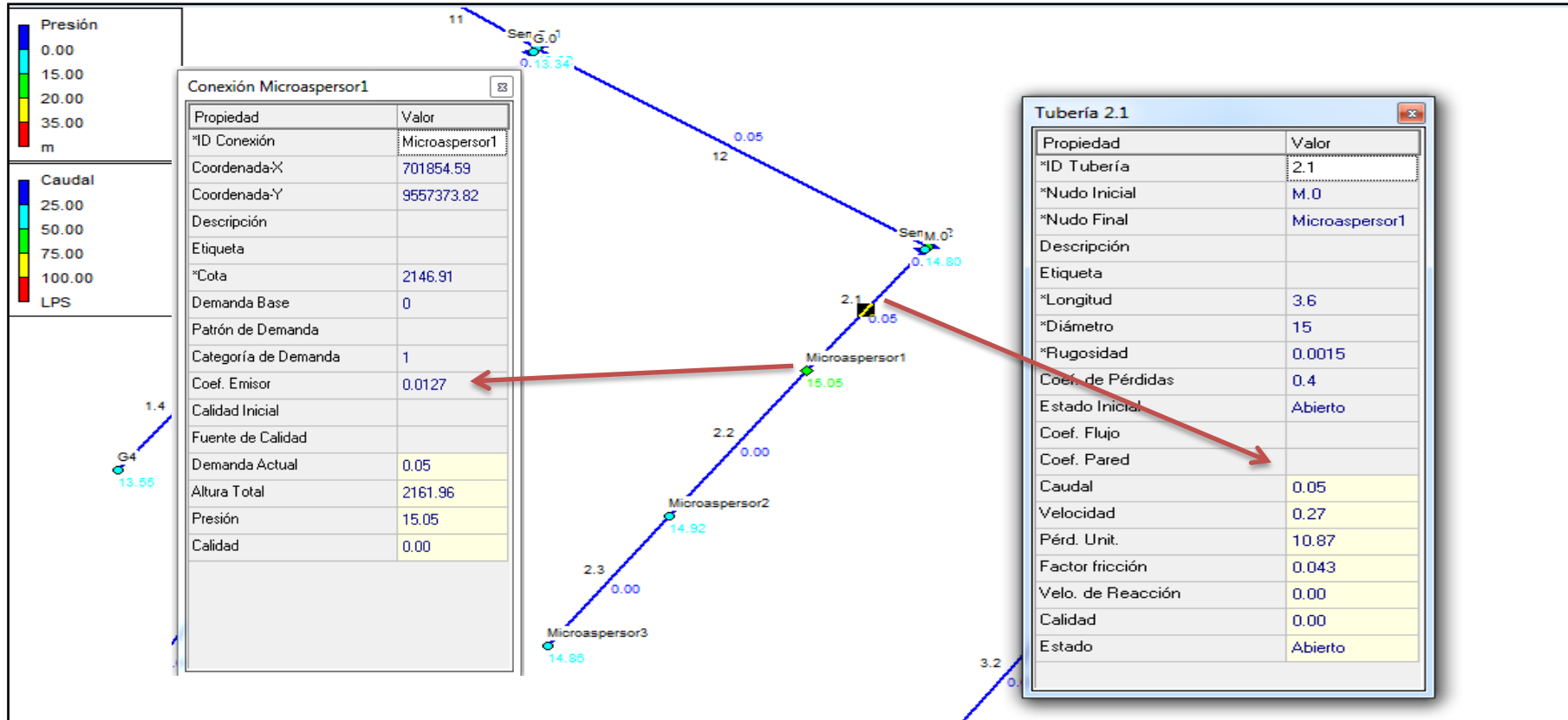


Figura 72. Modelación en Epanet 2.0 del coeficiente de descarga Ke obtenido para el microaspersor GyroNet turbo en el sistema a gravedad.  
Fuente. El Autor, Epanet 2.0.  
Elaboración. El Autor, 2015.



- Microaspersor GyroNet turbo (1 microaspersor a bombeo)

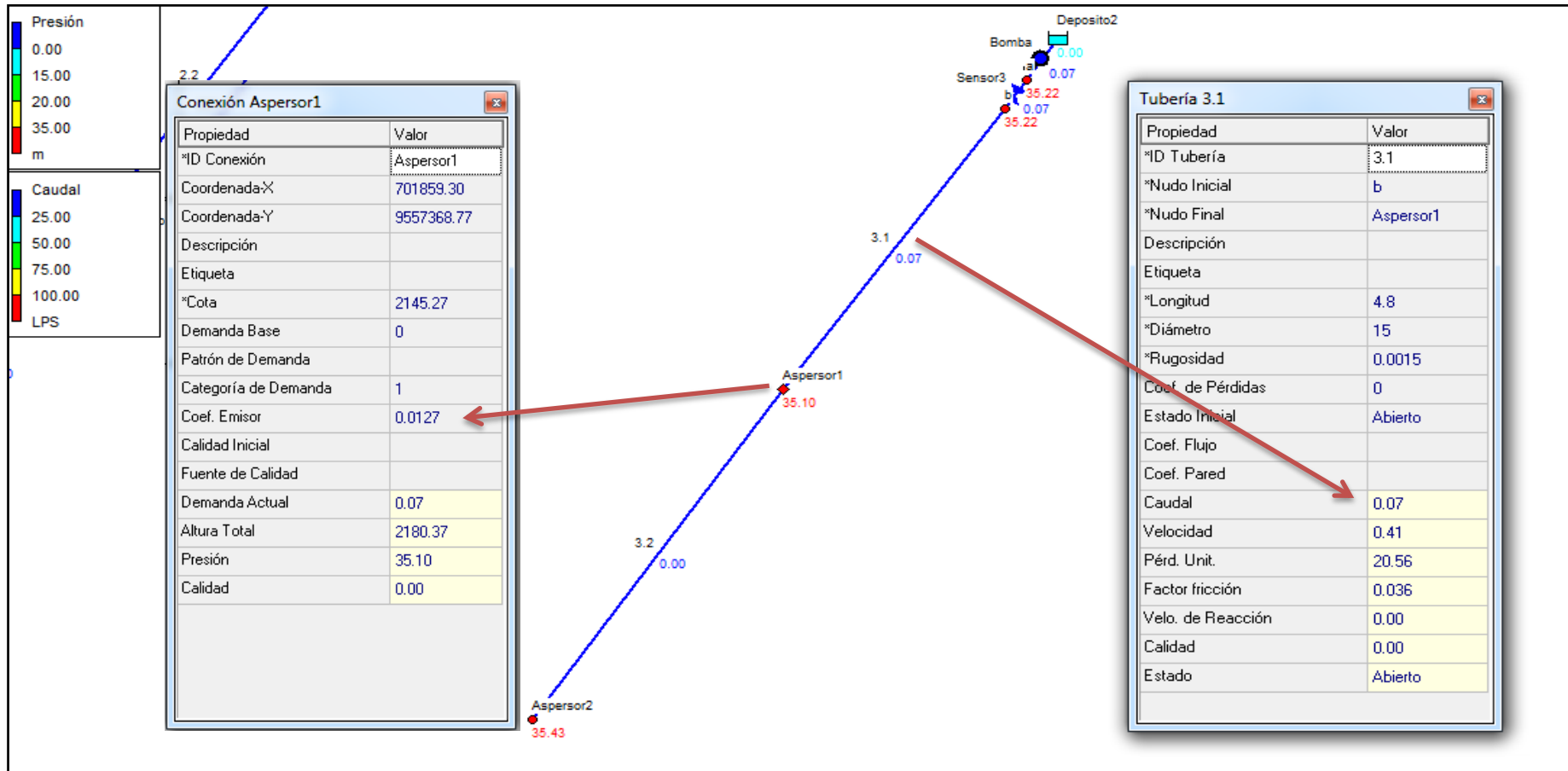


Figura 73. Modelación en Epanet 2.0 del coeficiente de descarga  $K_e$  obtenido para el microaspersor GyroNet turbo en el sistema a bombeo.

Fuente. El Autor, Epanet 2.0.

Elaboración. El Autor, 2015.

- **Microaspersor Mini Woobler 1/2" (1 microaspersor a gravedad)**

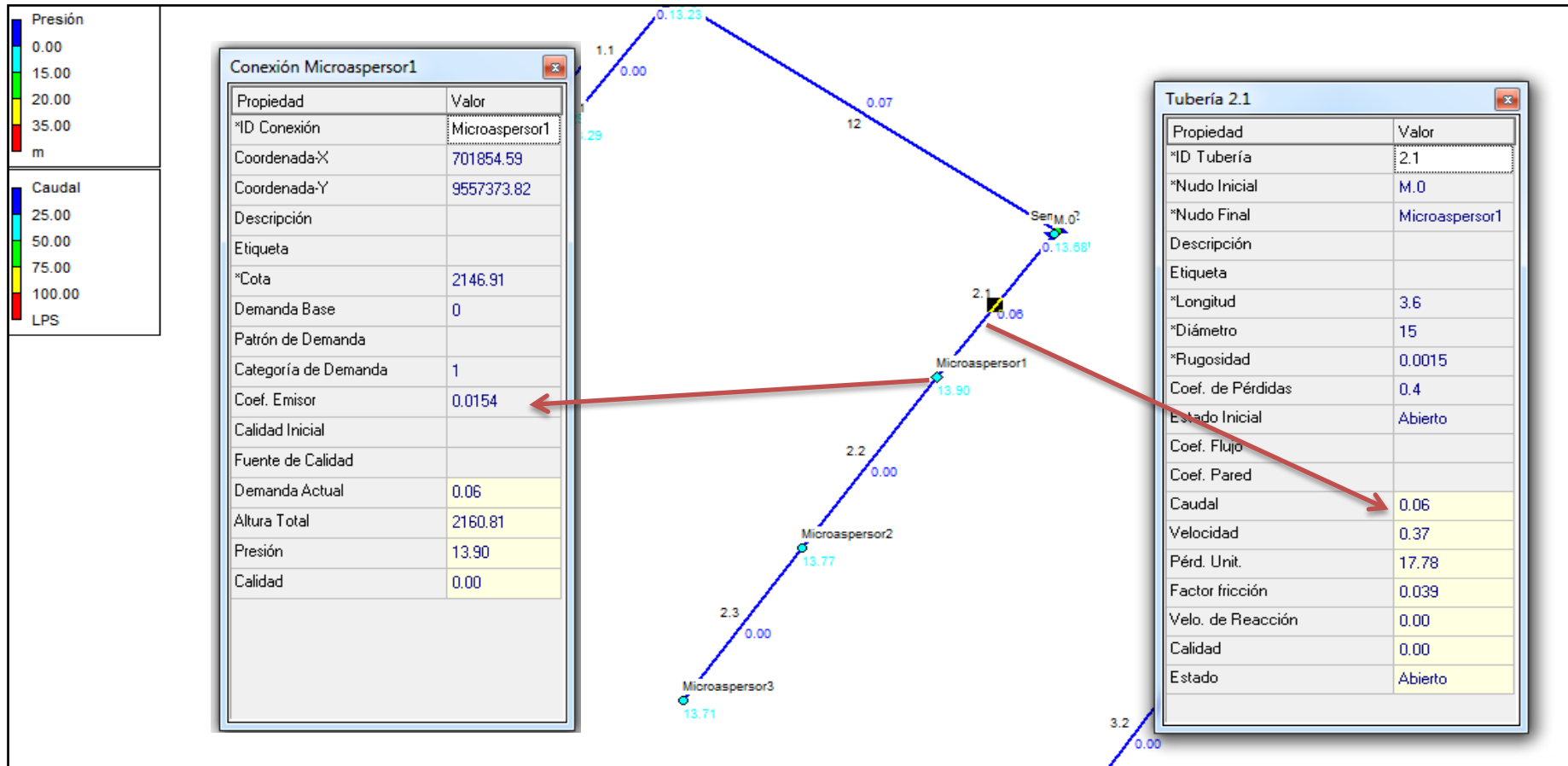


Figura 74. Modelación en Epanet 2.0 del coeficiente de descarga  $K_e$  obtenido para el microaspersor Mini Woobler en el sistema a gravedad.

Fuente. El Autor, Epanet 2.0.

Elaboración. El Autor, 2015.

- Microaspersor Mini Woobler 1/2" (1 microaspersor a bombeo)

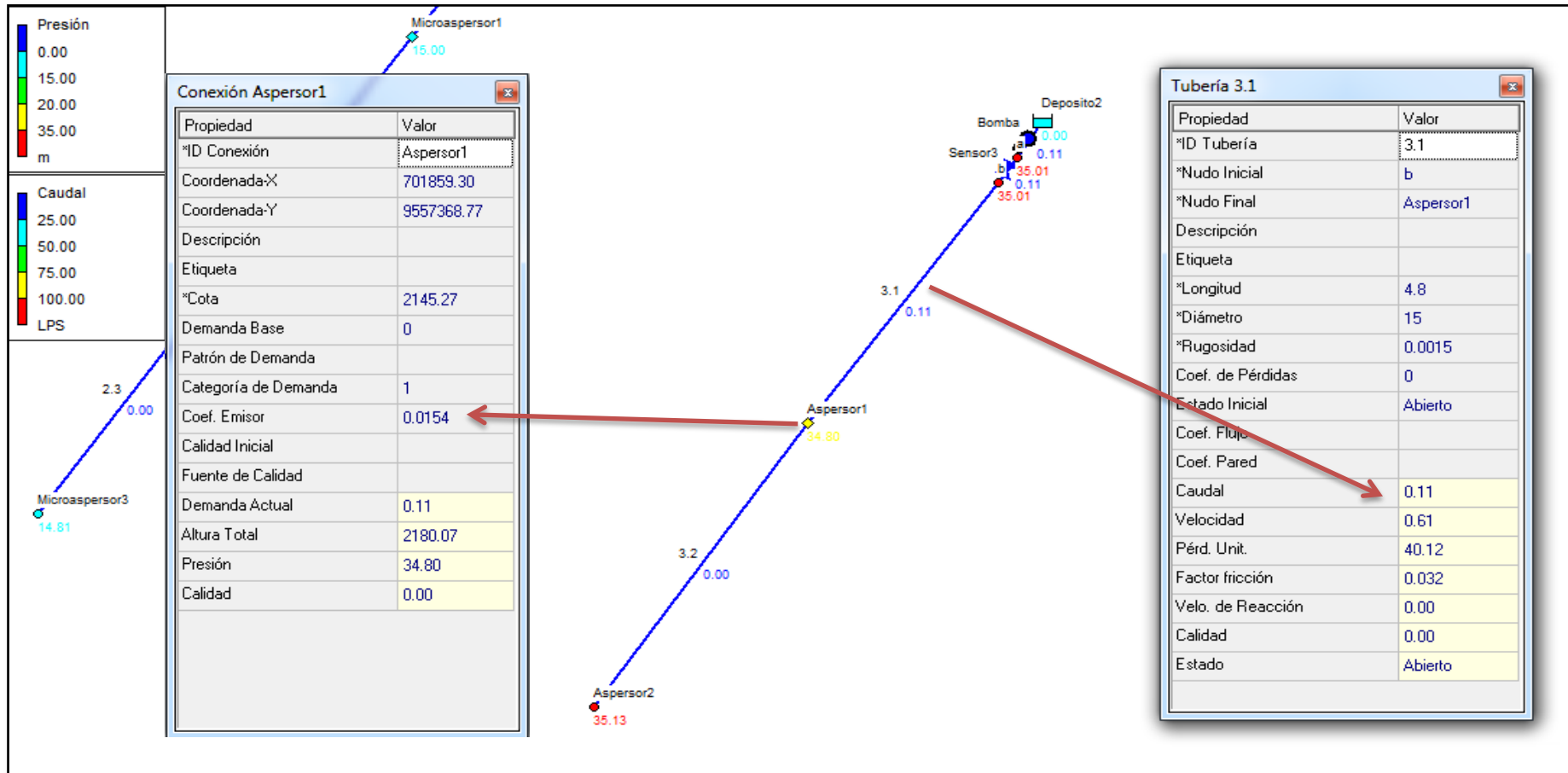


Figura 75. Modelación en Epanet 2.0 del coeficiente de descarga  $K_e$  obtenido para el microaspersor Mini Woobler en el sistema a bombeo.

Fuente. El Autor, Epanet 2.0.

Elaboración. El Autor, 2015.

- Microaspersor SpinNet negro (1 microaspersor a gravedad)

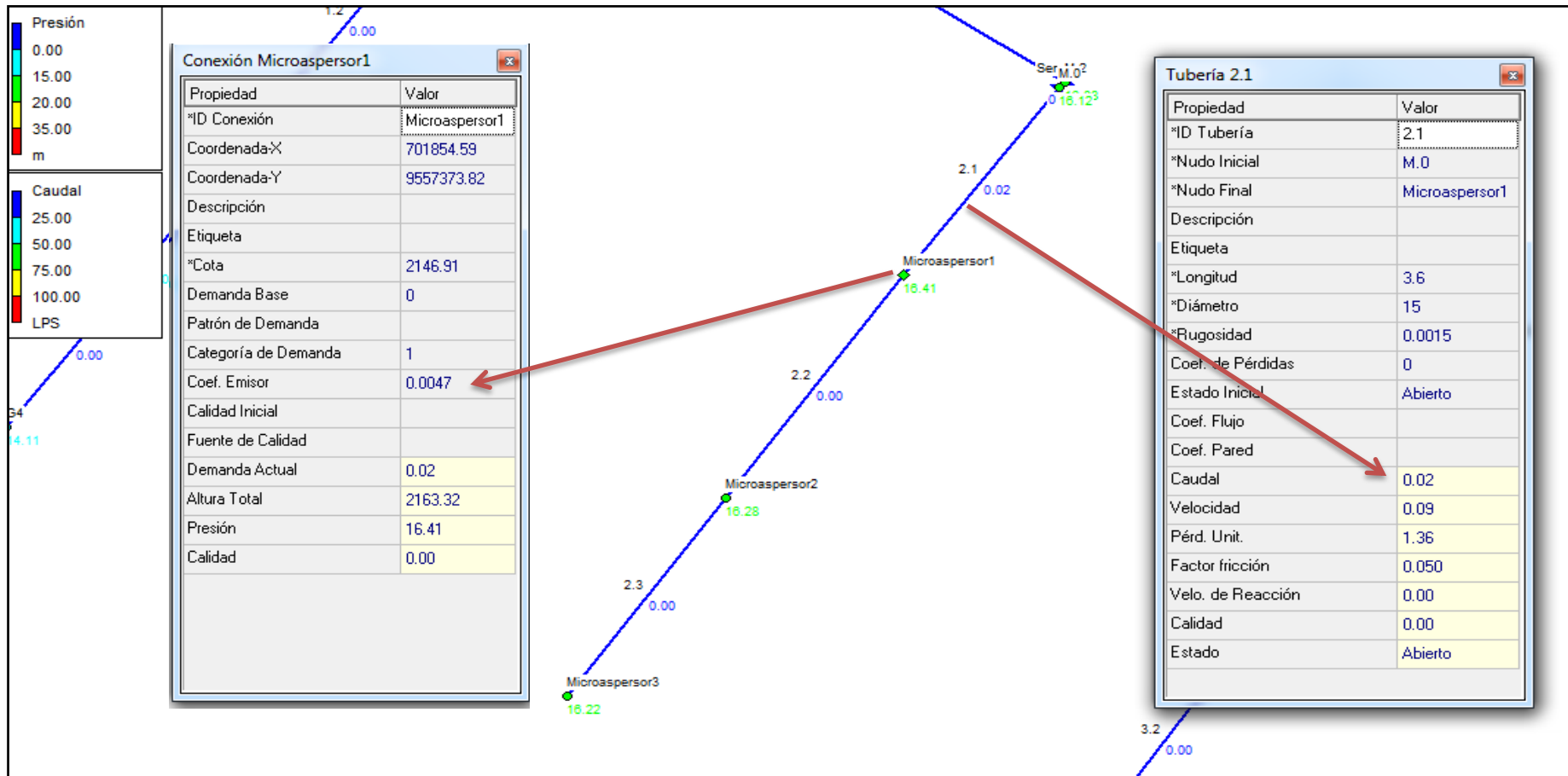


Figura 76. Modelación en Epanet 2.0 del coeficiente de descarga  $K_e$  obtenido para el microaspersor SpinNet en el sistema a gravedad.

Fuente. El Autor, Epanet 2.0.

Elaboración. El Autor, 2015.

- Microaspersor SpinNet negro (1 microaspersor a bombeo)

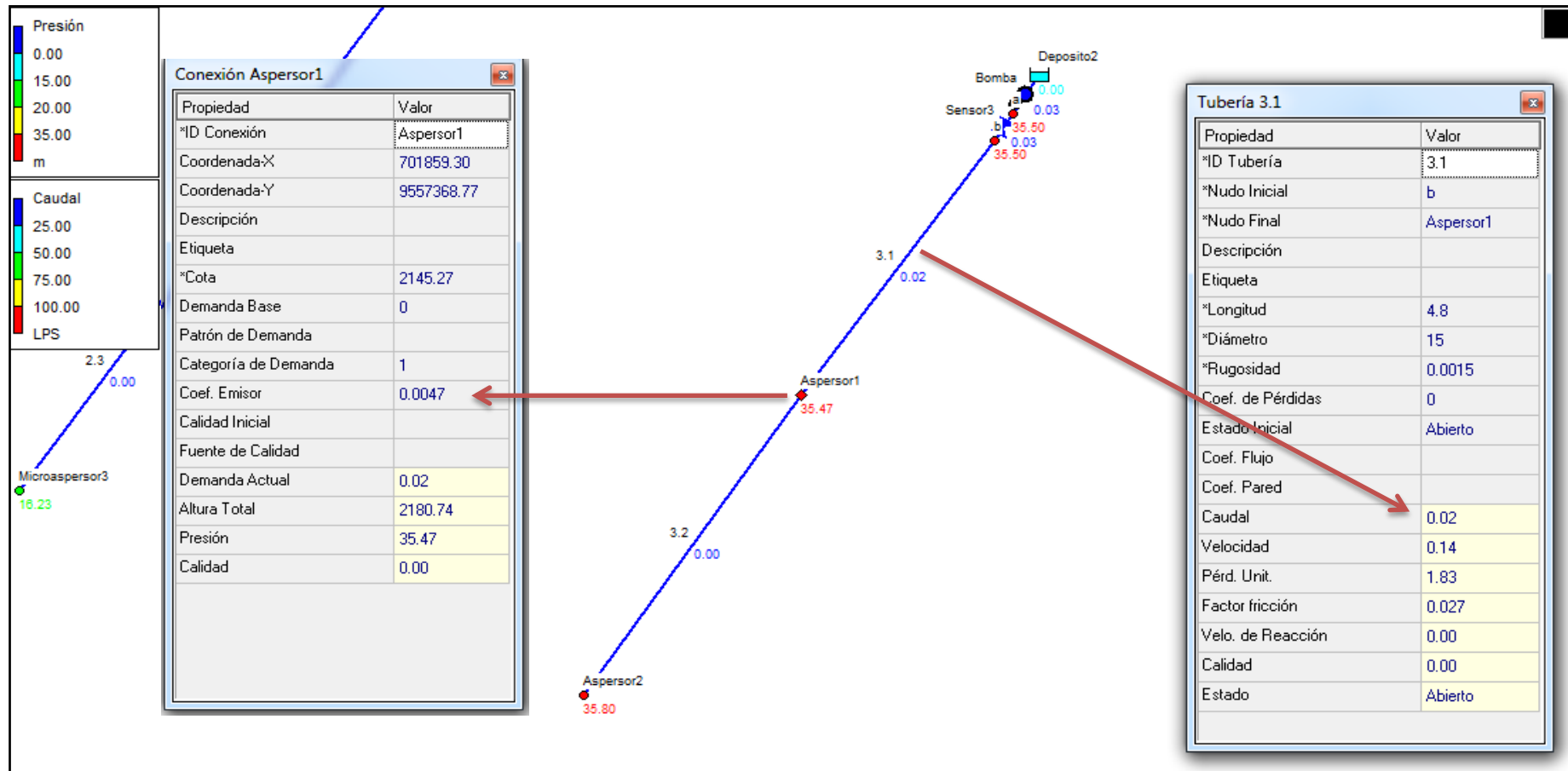


Figura 77. Modelación en Epanet 2.0 del coeficiente de descarga  $K_e$  obtenido para el microaspersor SpinNet en el sistema a bombeo.

Fuente. El Autor, Epanet 2.0.

Elaboración. El Autor, 2015.

- **Aspersor MegaNet naranja (1 aspersor a bombeo)**

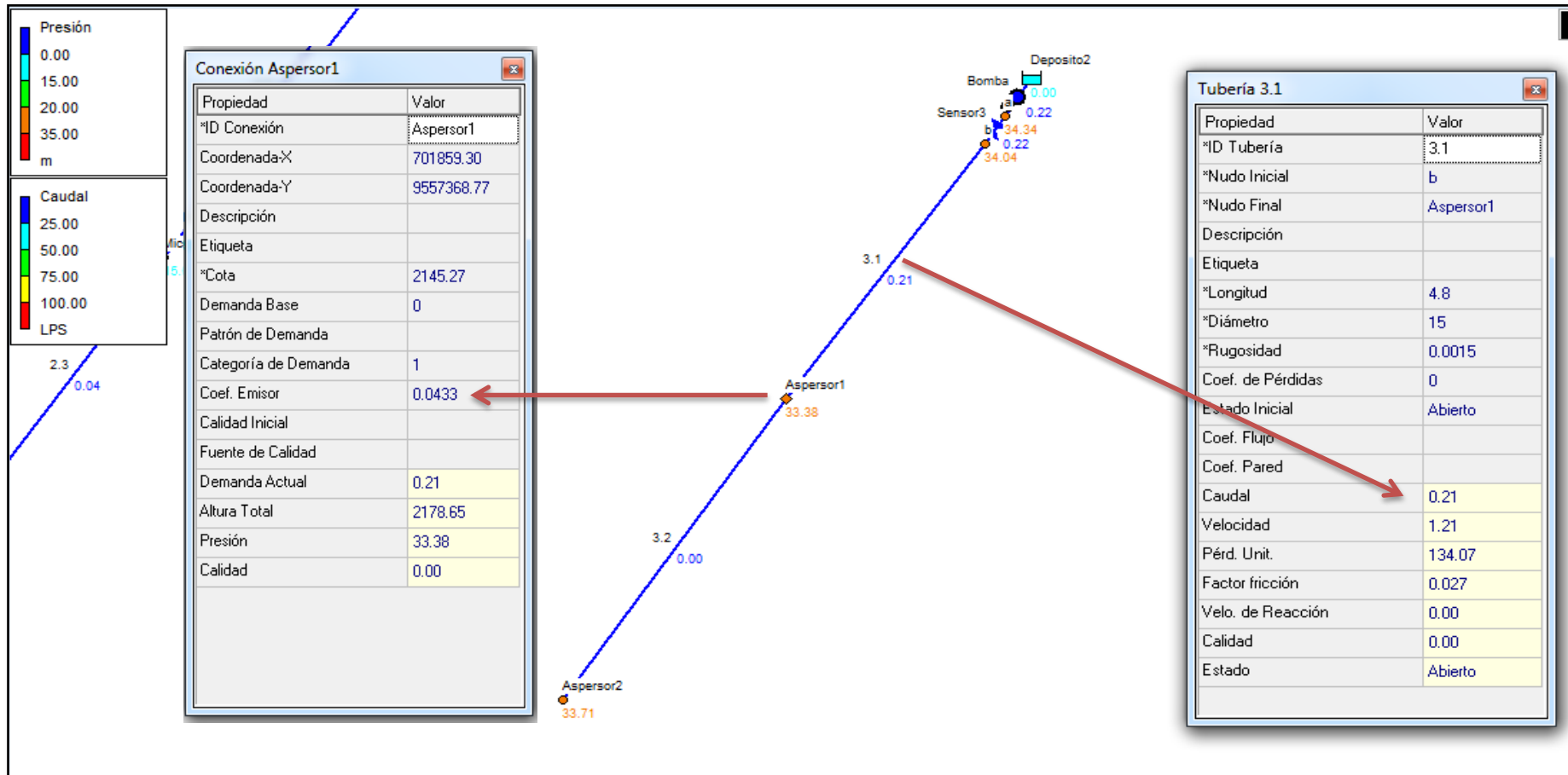


Figura 78. Modelación en Epanet 2.0 del coeficiente de descarga  $K_e$  obtenido para el aspersor MegaNet naranja en el sistema a bombeo.

Fuente. El Autor, Epanet 2.0.

Elaboración. El Autor, 2015.

- **Aspersor MegaNet naranja (2 aspersor a bombeo)**

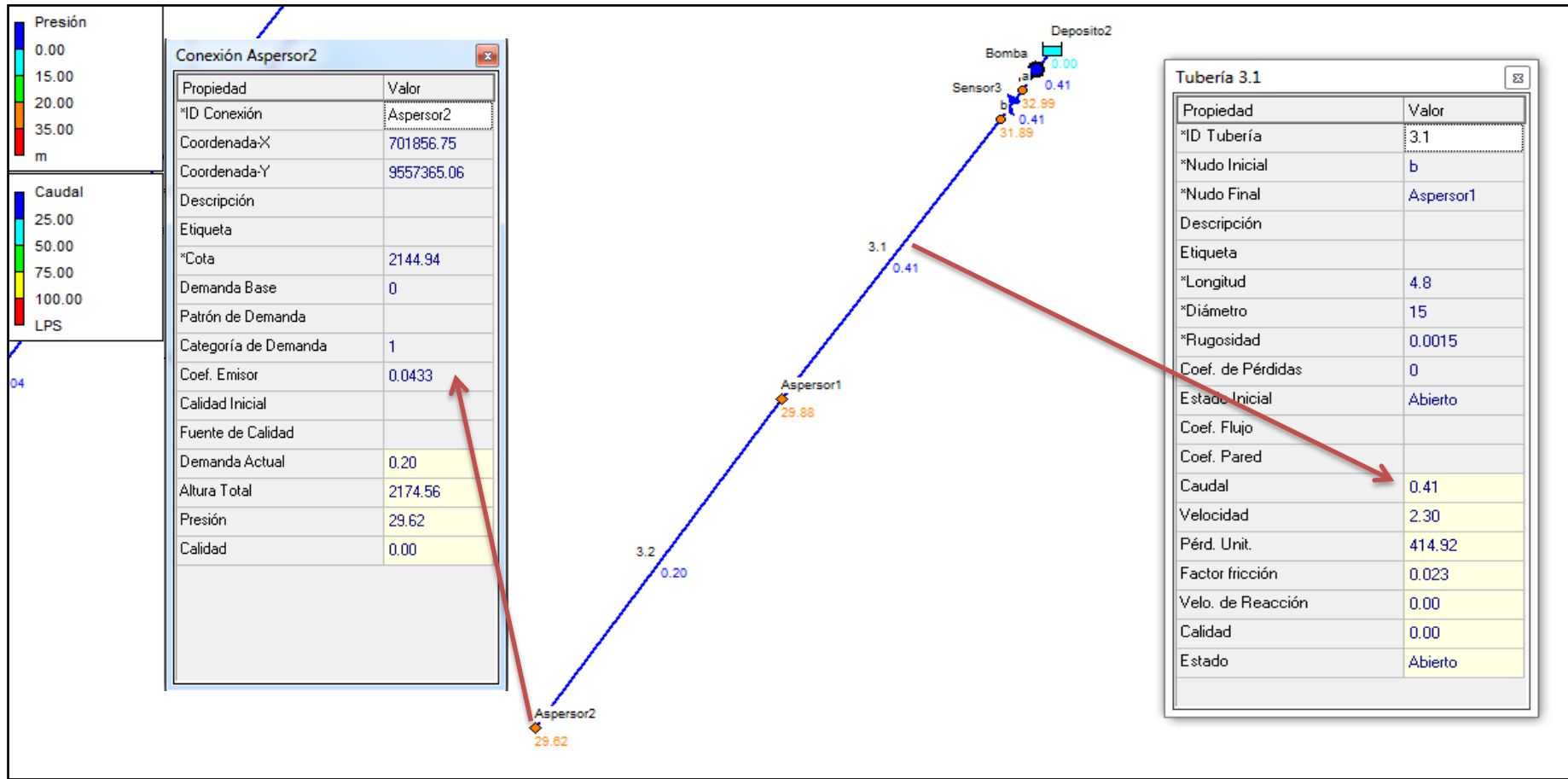


Figura 79. Modelación en Epanet 2.0 del coeficiente de descarga  $K_e$  obtenido para el aspersor MegaNet naranja en el sistema a bombeo.  
 Fuente. El Autor, Epanet 2.0.  
 Elaboración. El Autor, 2015.

- **Aspersor Naan Maestro azul (1 aspersor a bombeo)**

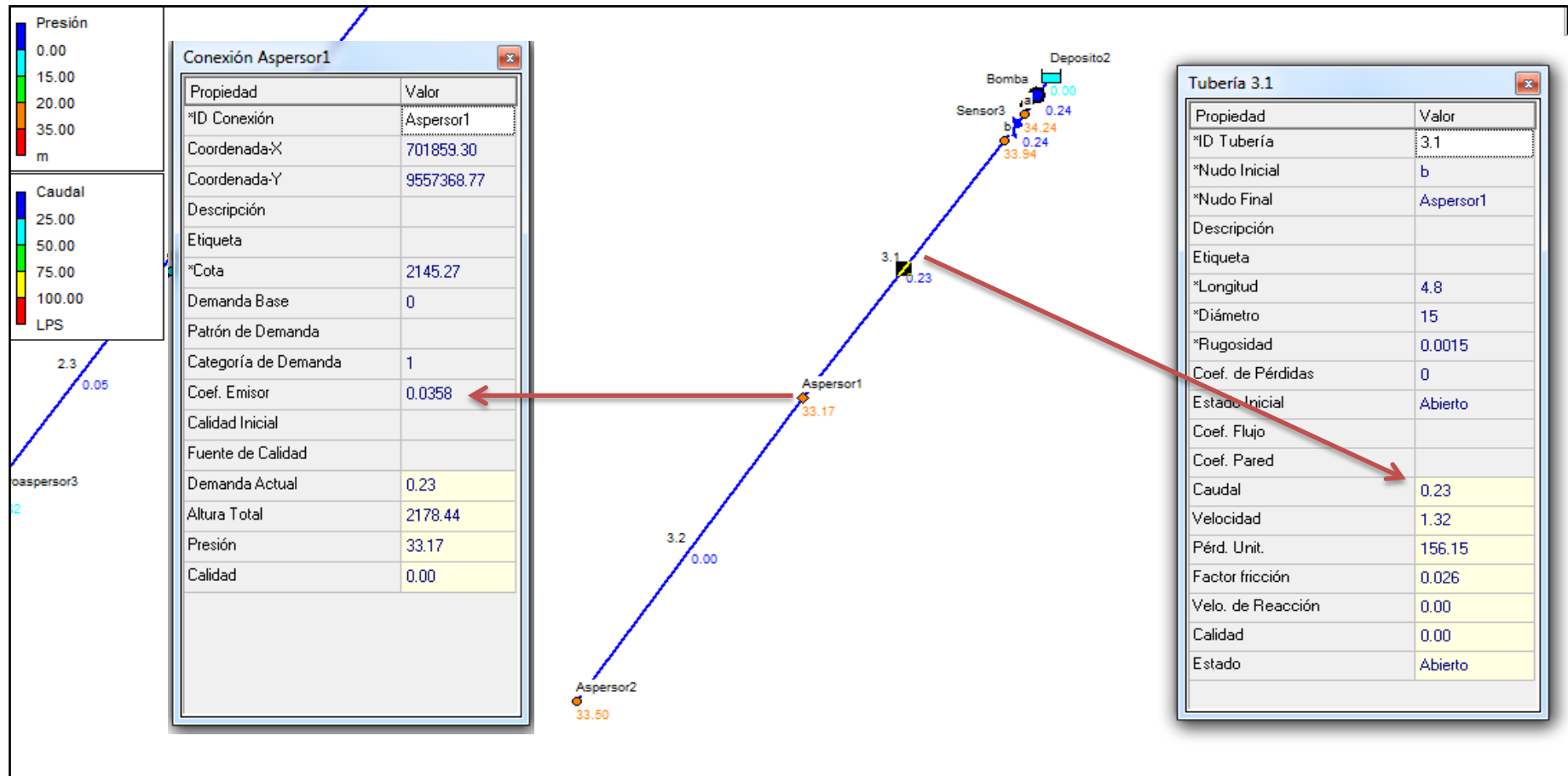


Figura 80. Modelación en Epanet 2.0 del coeficiente de descarga  $K_e$  obtenido para el aspersor Naan Maestro azul en el sistema a bombeo.

Fuente. El Autor, Epanet 2.0.

Elaboración. El Autor, 2015.



- **Aspersor Naan Maestro azul (2 aspersor a bombeo)**

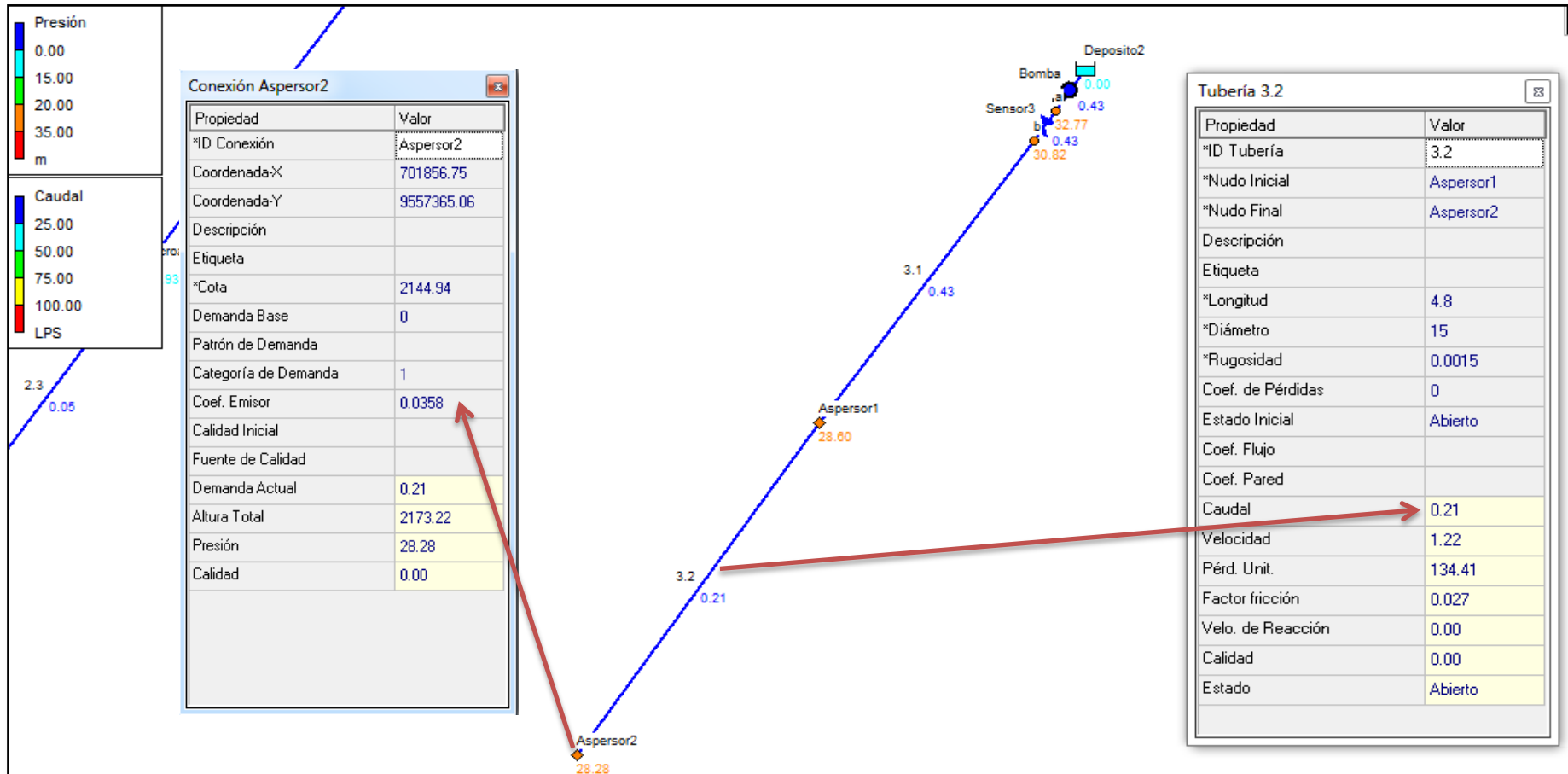


Figura 81. Modelación en Epanet 2.0 del coeficiente de descarga  $K_e$  obtenido para el aspersor Naan Maestro azul en el sistema a bombeo.

Fuente. El Autor, Epanet 2.0.

Elaboración. El Autor, 2015.

- **Aspersor Naan 5022 azul (1 aspersor a bombeo)**

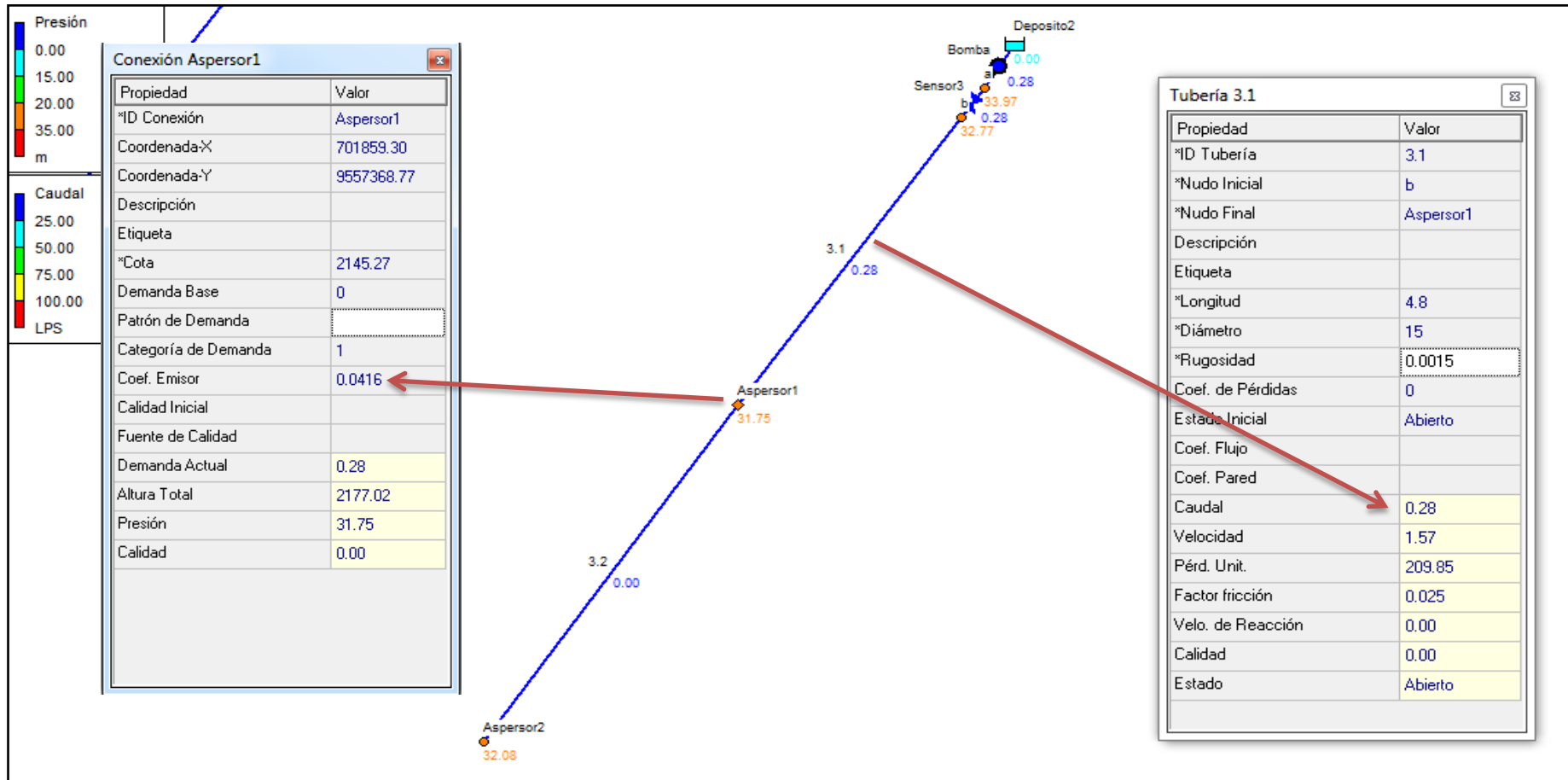


Figura 82. Modelación en Epanet 2.0 del coeficiente de descarga  $K_e$  obtenido para el aspersor Naan 5022 azul en el sistema a bombeo.

Fuente. El Autor, Epanet 2.0.

Elaboración. El Autor, 2015.

- **Aspersor Naan 5022 azul (2 aspersor a bombeo)**

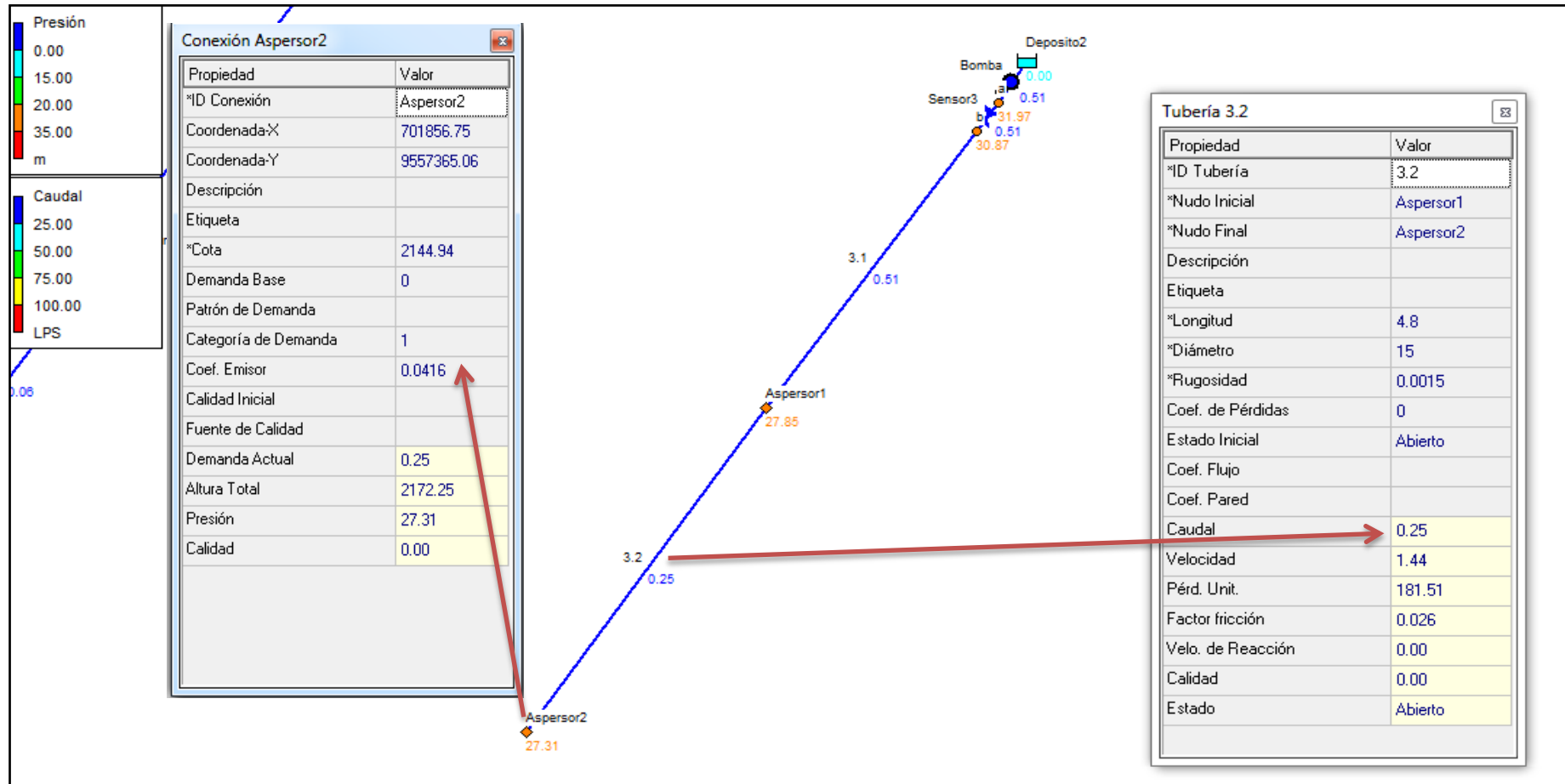


Figura 83. Modelación en Epanet 2.0 del coeficiente de descarga  $K_e$  obtenido para el aspersor Naan 5022 azul en el sistema a bombeo.  
 Fuente. El Autor, Epanet 2.0.  
 Elaboración. El Autor, 2015.