



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA



**SIMULACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE UN BLOQUE DE RIEGO POR GOTEO
PARA EVALUAR UNIFORMIDAD DE EMISIÓN**

POR:

PERLA YAZMÍN DE LA CRUZ AMBROSIO

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

SALTILLO, COAHUILA DICIEMBRE DEL 2013

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

SIMULACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE UN BLOQUE DE RIEGO POR
GOTEO PARA EVALUAR UNIFORMIDAD DE EMISIÓN

TESIS

POR:

PERLA YAZMÍN DE LA CRUZ AMBROSIO

Que se somete a consideración del H. Jurado Examinador como Requisito Parcial
para obtener Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

APROBADA POR:

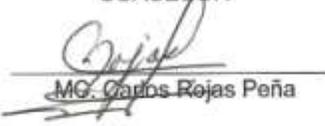
ASESOR PRINCIPAL


MC. Gregorio Briones Sánchez

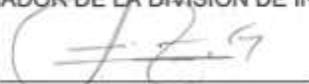
COASESOR


Dr. Manuela Bolívar Duarte

COASESOR


MC. Carlos Rojas Peña

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE INGENIERÍA


MC. Luis Rodríguez Gutiérrez

Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"



Saltillo, Coahuila, México, Diciembre del 2013

Coordinación de
Ingeniería

DEDICATORIAS

A mi Madre JUANA AMBROSIO CRUZ:

Por darme la vida, por ser padre, madre y amiga para mí; por darme ánimos para salir adelante, por aconsejarme y ayudarme a levantarme cada vez que he tropezado, me has enseñado como luchar para lograr hacer de mí lo que soy hoy, porque me forjaste tus valores, por todo tu apoyo moral y económico para poder terminar mi carrera profesional y es la mejor herencia que tengo, porque siempre creíste en mí y hoy es realidad lo que hace años soñamos y por el cual luchamos, este logro es para tí, porque eres lo más importante que tengo en la vida TE AMO MAMÁ.

A mi Papá JUAN DE LA CRUZ CARLOS:

Aunque no me acuerde de tí, pero sé que desde el cielo nos has cuidado a mamá y a mí, y sé que estarías orgulloso de ver lo que he logrado.

A mis Abuelitos:

Porque no puedo compartir con ellos este momento pero tengo todo su amor y bendición desde el cielo.

A mi Familia:

Tíos(as), Primos(as), por alentarme a perseguir mis sueños y gracias a ellos soy una triunfadora.

A mis compañeros y amigos con los cuales compartí momentos inolvidables a lo largo de toda mi carrera, en especial a Alexander que siempre encontraste la manera de hacerme sonreír, siempre los recordaré.

A Rusver que me apoyaste, me acompañaste en mis desvelos y que me tuviste paciencia en toda la trayectoria de esta tesis y sobre todo por el amor que me has entregado, gracias.

Los quiero... PYCA

AGRADECIMIENTOS

A Dios:

Por prestarme vida y permitir que pueda compartir con mis seres queridos momentos de felicidad, guiándome por el camino de la sabiduría, porque estás conmigo a cada momento brindándome fortaleza para salir adelante...y porque me amas.

A mi Alma Mater:

Que me abrió las puertas de esta institución y fue mi segunda casa en donde me permitió poder forjar mi carrera.

Al Departamento de Riego y Drenaje:

Por brindarme el espacio en el cual conocí a grandes amistades.

A todos mis profesores:

Que a lo largo de cuatro años y medio me transmitieron sus conocimientos y me han servido para la realización de esta tesis y el desarrollo de mi vida profesional.

Al MC. Gregorio Briones Sánchez:

Mi asesor principal que sin su apoyo y su gran paciencia no habría podido realizar esta tesis con la cual culmina mi carrera.

Al MC. Carlos Rojas Peña y Dr. Manuela Bolívar Duarte:

Mis coasesores gracias por los consejos y por el tiempo brindado.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIAS	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO	v
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE CUADROS	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Hipótesis	2
1.2. Objetivos.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Generalidades del Riego Localizado	3
2.1.1. Descripción de los Componentes	6
2.1.2. Ventajas y Desventajas	10
2.2. Riego por Goteo.....	11
2.3. Riego por Microaspersión	12
2.4. Emisores.....	15
2.4.1. Clasificación de los Emisores	17
2.4.2. Hidráulica de los emisores.....	19
2.5. Características del Diseño Hidráulico del Riego Localizado	22
2.6. Uniformidad	26
2.6.1. Uniformidad de Distribución (Du%)	28
2.6.2. Coeficiente de Uniformidad (Cu%)	30
2.6.3. Uniformidad de Emisión (Eu %).....	31
2.6.4. Factores que Afectan la Uniformidad del Riego	32
2.7. Gradiente Hidráulico	33
2.8. Método del Elemento Finito	34
2.8.1. Bloque Virtual de Riego Localizado.....	35
2.9. IRRICAD Pro 11.....	36
2.9.1. Características de IRRICAD Pro 11.....	37

2.9.2. Especificaciones Técnicas Generales	38
2.9.3. Ventajas del IRRICAD Pro 11.....	41
2.10. Aqua Flow 3.2	41
2.10.1. Características de Aqua Flow 3.2.....	42
2.10.2. Plataforma de Aqua Flow 3.2	43
III. MATERIALES Y MÉTODOS	45
3.1. Desarrollo del Modelo de Simulación del Método del Elemento Finito (MEF)	45
3.1.1. Datos Empleados para el Modelo del MEF	45
3.1.2. Aplicación del Modelo del MEF	47
3.1.3. Prueba de campo	47
3.1.4. Perfil Topográfico	51
3.2. Realización de la Simulación del Bloque de Riego	53
3.2.1. Simulación de la Línea Regante.....	53
3.2.2. Simulación de la Línea Distribuidora	56
3.2.3. Análisis del Funcionamiento del Bloque de Riego.....	58
3.2.4. Cálculo de la Uniformidad de Distribución (Du%).....	59
3.2.5. Cálculo de Coeficiente de Uniformidad (Cu%)	60
3.2.6. Cálculo de la Uniformidad de Emisión (Eu%)	60
3.3. Metodología para Diseño de un Bloque de Riego con IRRICAD Pro 11.....	61
3.4. Metodología para Diseño de un Bloque de Riego con Aqua Flow 3.2	71
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	75
4.1 Curvas Características de Tres Tipos de Emisores (gotero integrado, cinta de goteo y microaspersor).....	75
4.2. Ecuaciones para las Distribuidoras con Diferentes Líneas Regantes (goteo integrado, cinta de goteo y microaspersión), para Diferentes Longitudes. 76	
4.3. Comparación de Gastos Calculados contra Aforados en una Línea Regante con Diferentes Tipos de Emisores a Diferentes Presiones a la Entrada. ..	77
4.4. Funcionamiento Hidráulico de los Bloques de Riego Utilizando el MEF con Líneas Regantes de Goteo Integrado, Cinta de Goteo y Microaspersión, mostrando las Uniformidades.....	80

4.5. Reportes y Diagramas de Uniformidad de los Bloques de Riego Utilizando Aqua Flow 3.2 con Líneas Regantes de Goteo Integrado y Cinta de Goteo.	83
4.6. Reportes y Diseños de los Bloques de Riego Utilizando el Software IRRICAD Pro 11 con Líneas Regantes de Goteo Integrado, Cinta de Goteo y Microaspersión.	93
4.7. Gradiente Hidráulico de la Línea Regante Promedio en los Bloques de Riego con Goteo Integrado, Cinta de Goteo y Microaspersión.	102
4.8. Comparación de las Presiones Máximas y Mínimas de los Diseños de Bloque de Riego por Goteo Integrado, Cinta de Goteo y Microaspersión, con MEF, Aqua Flow e IRRICAD.	104
4.9. Comparación del Flujo del Bloque de los Diseños de Bloque de Riego por Goteo Integrado, Cinta de Goteo y Microaspersión con MEF, Aqua Flow e IRRICAD.	108
4.10. Comparación de la Du% de los Diseños de Bloque de Riego por Goteo Integrado, Cinta de Goteo y Microaspersión con MEF e IRRICAD.	110
4.11. Comparación del Cu% de los Diseños de Bloque de Riego por Goteo Integrado, Cinta de Goteo y Microaspersión con MEF e IRRICAD.	112
4.12. Comparación de la Eu% de los Diseños de Bloque de Riego por Goteo Integrado, Cinta de Goteo y Microaspersión con MEF, Aqua Flow e IRRICAD.	114
V. CONCLUSIONES	116
VI. BIBLIOGRAFÍA.....	117
VII. APENDICES	121

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Ejemplo de riego por goteo (Toro, 2013).	4
Figura 2.2. Ejemplo de riego por manguera exudante (AquaFlex, 2013).....	4
Figura 2.3. Ejemplo de riego por microaspersión (Toro, 2013).	5
Figura 2.4. Componentes generales de un sistema de riego localizado (Fernández, 2010).	7
Figura 2.5. Tipos de filtros a). Filtro de malla b). Filtro de anillas c). Filtro de arena d). Hidrociclón.....	8
Figura 2.6. Ejemplos de microaspersores a). Clásico b). Autocompensado c). Microaspersor con estaca (Toro, 2013).....	14
Figura 2.7. Ejemplo de difusores y boquillas (Toro, 2013).	15
Figura 2.8. Gráfica de Relación de Carga Vs Gasto (Loboa, 2011).	21
Figura 2.9. Relación entre las pérdidas de carga que se originan en una tubería de riego a presión y su diámetro o longitud (Fernández, 2010).	24
Figura 2.10. Esquema general de un diseño hidráulico de riego localizado (Universidad de Sevilla, 2013).....	26
Figura 2.11. Simulación del gradiente hidráulico.....	34
Figura 3.1. Hidrómetro y manómetro a la entrada a la línea regante.	47
Figura 3.2. Extendiendo el rollo de manguera regante de prueba.	48
Figura 3.3. Haciendo las conexiones de los instrumentos utilizados.	48
Figura 3.4. a). Aforando un microaspersor y b). Midiendo el caudal aforado.....	49
Figura 3.5. Medición de las cotas topográficas sobre el tendido de la manguera.	52
Figura 3.6. Imagen de las pestañas de configuración del espacio de trabajo de IRRICAD.....	61
Figura 3.7. Dibujo de las curvas de nivel en el terreno de IRRICAD.....	62
Figura 3.8. Barra de ícono de la zona en IRRICAD.	63
Figura 3.9. Imagen de la plantilla de las propiedades de las laterales de un bloque de IRRICAD.....	63
Figura 3.10. Imagen de la plantilla de las propiedades de la distribuidora de un bloque de IRRICAD.	64
Figura 3.11. Diseño del bloque de riego con las líneas regantes establecidas en IRRICAD.	64
Figura 3.12. Barra de íconos de la tubería principal de IRRICAD.	65
Figura 3.13. Dibujo de la línea principal, fuente de agua y la bomba en el bloque de riego de IRRICAD.	65
Figura 3.14. Imagen del diseño del flujo de la zona de riego de IRRICAD.	66
Figura 3.15. Imagen de la pestaña de configuración de las etiquetas del bloque de IRRICAD.	67

Figura 3.16. Gradiente hidráulico de una línea regante perteneciente al bloque de riego de IRRICAD.	68
Figura 3.17. Ejemplo de un Reporte de Uniformidades de un bloque de riego de IRRICAD.	69
Figura 3.18. Ejemplo de un Reporte de Materiales de un bloque de riego de IRRICAD.	70
Figura 3.19. Ejemplo del diseño de un bloque de riego por goteo de IRRICAD. ..	70
Figura 3.20. Plantilla del programa Aqua Flow 3.2.....	71
Figura 3.21. Imagen de las elevaciones del perfil del terreno en Aqua Flow 3.2. .	73
Figura 3.22. Diagrama de Uniformidad de Aqua Flow 3.2.	73
Figura 3.23. Ejemplo de un reporte de diseño de Aqua Flow 3.2.....	74
Figura 4.1. Curvas características de tres tipos de emisores.....	75
Figura 4.2. Tendencia de las ecuaciones de tres tipos de regante.	76
Figura 4.3. Comparación de gastos calculados contra aforados en una línea regante de goteo integrado a presiones de entrada de 50,40 y 30 pies.	77
Figura 4.4. Comparación de gastos calculado contra aforados en una línea regante de cinta de goteo Aqua-Traxx EA5081234 a una presión de entrada de 30 pies.....	78
Figura 4.5. Comparación de gastos calculados contra aforados en una línea regante con manguera de polietileno con microaspersores Naandanjain a presiones de entrada de 72,50 y 30 pies.....	79
Figura 4.6. Funcionamiento hidráulico del bloque de riego de goteo aplicando el MEF con manguera de goteo integrado Netafim 16 mm/4 LPH/100 cm con una distribuidora de PVC 1 ½" Ø a una presión de entrada en la válvula de 9.214 metros.....	80
Figura 4.7. Funcionamiento hidráulico para el bloque de riego de goteo aplicando el MEF con cinta de goteo Aqua-Traxx EA5081234 con una distribuidora de PVC 1 1/2" Ø a una presión de entrada en la válvula de 13.397 metros.....	81
Figura 4.8. Funcionamiento hidráulico para el bloque de riego de microaspersión aplicando el MEF con manguera de polietileno 19 mm Ø, microaspersores Naandanjain, con una distribuidora de PVC 2" Ø a una presión de entrada en la válvula de 17.834 metros.	82
Figura 4.9. d). Reporte de Aqua Flow 3.2 con manguera Drip In DC55100-42 y distribuidora Oval Hose 42 PSI 1 ½" Ø a una presión de entrada de 10 mca.....	87

Figura 4.10. d). Reporte de Aqua Flow 3.2 con cinta Aqua Traxx EA5xx1234 y distribuidora Oval Hose 42 PSI 1 ½" Ø a una presión de entrada de 9 mca.....	92
Figura 4.11. c). Bloque de riego con manguera de goteo integrado para un área de 1.74 ha.....	95
Figura 4.12. c). Bloque de riego con cinta de goteo para un área de 1.60 ha.....	98
Figura 4.13. c). Bloque de riego por microaspersión para un área de 2.12 ha. ...	101
Figura 4.14. a). Comparación de los gradientes hidráulicos para la línea regante promedio del bloque de riego de goteo integrado con MEF, IRRICAD y Aqua Flow. b). Comparación del gradiente hidráulico para la línea regante promedio del bloque de riego con cinta de goteo con MEF, IRRICAD y Aqua Flow. c). Comparación del gradiente hidráulico para la línea regante promedio del bloque de riego por microaspersión con MEF e IRRICAD.....	103
Figura 4.15. a). Comparación de las presiones máximas en la válvula determinadas para tres diseños de goteo integrado con MEF, Aqua Flow e IRRICAD. b). Comparación de las presiones máximas en la válvula determinadas para tres diseños de cinta de goteo con MEF, Aqua Flow e IRRICAD. c). Comparación de las presiones máximas en la válvula determinadas para tres diseños de microaspersión con MEF e IRRICAD.	105
Figura 4.16. a). Comparación de las presiones mínimas determinadas para tres diseños de goteo integrado con MEF, Aqua Flow e IRRICAD. b). Comparación de las presiones mínimas determinadas para tres diseños de cinta de goteo con MEF, Aqua Flow e IRRICAD. c). Comparación de las presiones mínimas determinadas para tres diseños de microaspersión con MEF e IRRICAD.....	107
Figura 4.17. a) Comparación del flujo del bloque obtenido para tres diseños de goteo integrado con MEF, Aqua Flow e IRRICAD. b) Comparación del flujo del bloque obtenido para tres diseños de cinta de goteo con MEF, Aqua Flow e IRRICAD. c) Comparación del flujo del bloque obtenido para tres diseños de microaspersión con MEF e IRRICAD.	109
Figura 4.18. a). Comparación de la Du% calculada para tres diseños de goteo integrado con MEF E IRRICAD. b). Comparación de la Du% calculada para tres diseños de cinta de goteo con MEF e IRRICAD. c). Comparación de la Du% calculada para tres diseños de microaspersión con MEF e IRRICAD.....	111
Figura 4.19. a). Comparación del Cu% calculado para tres diseños de goteo integrado con MEF e IRRICAD. b). Comparación del Cu% calculado para tres diseños de cinta de goteo con MEF e IRRICAD. c).	

	Comparación del Cu% calculado para tres diseños de microaspersión con MEF e IRRICAD.....	113
Figura 4.20.	a). Comparación de la Eu% calculada para tres diseños de goteo integrado con MEF, Aqua Flow e IRRICAD. b). Comparación de la Eu% calculada para tres diseños de cinta de goteo con MEF, Aqua Flow e IRRICAD. c). Comparación de la Eu% calculada para tres diseños de microaspersión con MEF e IRRICAD.....	115

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1. Exponentes de descarga de los emisores (Pizarro, 1990).	21
Cuadro 2.2. Clasificación de la calidad de los emisores según el coeficiente de variación de fabricación.	22
Cuadro 3.1. Diseño de la plantilla de Excel para la ecuación del emisor.	50
Cuadro 3.2. Cotas topográficas de la línea regante.	53
Cuadro 3.3. Plantilla de Excel para la simulación de la línea regante.	54
Cuadro 3.4. Plantilla de Excel para el análisis de la línea distribuidora.	56
Cuadro 3.5. Plantilla de Excel para el cálculo de las uniformidades.	59

SIMULACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE UN BLOQUE DE RIEGO POR GOTEO PARA EVALUAR UNIFORMIDAD DE EMISIÓN

POR: PERLA YAZMÍN DE LA CRUZ AMBROSIO

RESUMEN

La presente investigación para tesis se llevó a cabo en el Jardín Hidráulico de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en Saltillo, Coahuila, donde se evaluaron laterales de prueba de goteo integrado, cinta de goteo y microaspersión; se determinaron las características de diseño y operación y después se diseñaron los bloques de riego virtuales como si estuvieran en campo con tres métodos: MEF, Aqua Flow e IRRICAD, el objetivo fue poner a prueba los métodos, con esto se hizo la comparación de cargas, gastos y Uniformidad de Emisión (Eu%) en un bloque de riego localizado (goteo integrado, cinta de goteo y microaspersión).

Los diseños se realizaron utilizando el software disponible en el centro de cómputo académico del Departamento de Riego y Drenaje. Para el bloque de riego diseñado con manguera de goteo integrado Netafim 16 mm/4 LPH/100 cm, los métodos de diseño no mostraron diferencias significativas en los parámetros hidráulicos calculados. Por otra parte al comparar dichos métodos, utilizando cinta de goteo Aqua-Traxx EA5081234, no se encontró diferencia en la Uniformidad de Emisión (Eu%), pero a su vez el MEF vs Aqua Flow y Aqua Flow vs IRRICAD demostraron ser distintos en el parámetro del flujo del bloque y el MEF vs IRRICAD demostraron ser distintos en la Uniformidad de Distribución (Du%). Finalmente en la comparación del bloque de riego diseñado con manguera de polietileno 19 mm de diámetro con microaspersores Naandanjain base naranja boquilla 1.5 mm el MEF vs IRRICAD en la prueba estadística no mostró diferencias. El software IRRICAD demostró ser el método más rápido y preciso para analizar el funcionamiento hidráulico del bloque de riego y evaluación de la uniformidad de emisión.

Palabras Clave: Software IRRICAD, Software Aqua Flow, Método del Elemento Finito, Riego Localizado, Uniformidad de Emisión.

SIMULATION OF THE PERFORMANCE FOR A DRIP IRRIGATION BLOCK TO EVALUATE THE EMISSION UNIFORMITY

BY: PERLA YAZMÍN DE LA CRUZ AMBROSIO

ABSTRACT

The present research for thesis was carried out in the Hydraulic Garden of the “Antonio Narro” University in Saltillo, Coahuila where three micro irrigation laterals of test were evaluated for studying the hydraulics one of the integrated drip hose, drip tape and microsprinkler. The properties for each type of emitter and hose were determined and then several virtual blocks and irrigation were designed as if they were operating in field applying the three following methods: Finite Element Method (FEM), Aqua Flow and IRRICAD, the objective went to put to test such a methods and to compare its design parameters as them are reported heads, flows and Emission Uniformity expected for each localized irrigation block (integrated drip hose, drip tape and microsprinkler). The designs were done utilizing the software saved in the Academic Computer Center of the Irrigation and Drainage Department. For the irrigation block configured with integrated drip hose Netafim 16 mm/4 LPH/100 cm, the design methods did not show significant differences among the hydraulic parameters calculated. On the other hand upon comparison said methods utilizing drip tape Aqua-Traxx EA5081234, they gave almost the same one uniformity of emission (%UE). However in the contrast the FEM against Aqua Flow and Aqua Flow against IRRICAD were found different in flow reported for the block also the FEM against IRRICAD did show different uniformity distribution. Finally in the comparison of the irrigation block designed with polyethylene hose of 19 mm in diameter with microsprinklers NAANDANJAIN orange base 1.5 mm nozzle the statistical test did not show differentiates between FEM against IRRICAD. The IRRICAD software did show to be a fast and precise method for analyzing the hydraulic performance and to evaluate the emission uniformity for a drip irrigation block.

Key words: Software IRRICAD, Software Aqua Flow, Finite Element Method, Localized Irrigation, Emission Uniformity.

I. INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los elementos que más limita la producción vegetal tanto en la agricultura como en los ecosistemas naturales, lo que lleva a conducir en diferencias de acuerdo al tipo de vegetación. La razón por la cual el agua es una fuente limitante es debido a que las plantas la usan en grandes cantidades. Del agua que absorben las plantas la mayoría es perdida hacia la atmósfera a esta pérdida de agua se denomina transpiración y también existe la pérdida del agua del suelo que se llama evaporación; a la pérdida de estos términos cuando suceden juntos, se le conoce como evapotranspiración (ET). De acuerdo a lo anterior los cultivos necesitan de un soporte para cubrir sus necesidades hídricas, para poder mantenerse ya que tiene funciones sobre el transporte de los nutrientes desde el suelo a la parte más alta de las plantas.

El agua cobra importancia en la producción agrícola moderna, mediante el uso de sistemas presurizados para eficientar su uso, es así como entra la tecnología del riego localizado que tiene como objetivo, mantener la disponibilidad de agua en la zona radical en un nivel óptimo para obtener un rendimiento cercano a la máxima productividad potencial. Es la aplicación de agua al suelo en pequeñas cantidades con alta frecuencia, lo que evita grandes fluctuaciones de humedad, y mantiene niveles de agua relativamente constantes; además, la continua aplicación hídrica en pequeñas dosis establece condiciones óptimas para ser extraída por las plantas.

Para que todas las plantas del cultivo estén en condiciones óptimas es necesario hacer evaluaciones y de esta manera conocer si el agua de riego, los fertilizantes y productos químicos que se incorporan a ella se están aplicando de manera uniforme, mediante esto conocer si dicho sistema resulta eficiente.

Un objetivo fundamental de un sistema de riego localizado bien diseñado y operado es suministrar suficiente caudal (filtrado), presurizado para adecuadamente irrigar las plantas menos humedecidas, por lo tanto la relación entre ambas descargas del emisor, la mínima y la promedio, es un factor clave de

la uniformidad de emisión (Eu%). La calidad del cultivo y la productividad pueden resultar afectadas tanto por el déficit como por el exceso en la aplicación.

Las pruebas que se realizaron fueron para evaluar la uniformidad de emisión de un sistema de riego por goteo, cinta de goteo y microaspersión y de esa forma comprender el comportamiento hidráulico de un bloque de riego. Para esto se tomó como campo experimental el jardín hidráulico de la UAAAN, para hacer pruebas en líneas regantes y así predecir cómo opera un bloque real de riego localizado, se determinaron las características de los emisores y de las líneas regantes a evaluar, con esta información de campo y de operación, se ejecutaron pruebas virtuales con el Método del Elemento Finito, Aqua Flow e IRRICAD y así se compararon los parámetros hidráulicos, para determinar si los métodos son análogos.

1.1. Hipótesis

Ho: %Eu_{ALGORITMO} = %Eu_{IRRICAD} = %Eu_{AQUA FLOW}

Ha: %Eu_{ALGORITMO} ≠ %Eu_{IRRICAD} ≠ %Eu_{AQUA FLOW}

1.2. Objetivos

- 1). Poner a prueba todos los métodos para aceptar o rechazar las hipótesis en base a la comparación de cargas, gastos y Eu (%) en un bloque de riego.
- 2). Demostrar cuál es el método más rápido y preciso para analizar el funcionamiento hidráulico del bloque de riego y cálculo de la Uniformidad de Emisión (Eu%).
- 3). Exponer las razones por las cuales se presentan diferencias en los resultados de los métodos utilizados (este objetivo si la Ha resultara aceptada).

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Generalidades del Riego Localizado

En la definición de riego se indica que es la cantidad de agua que se debe incorporar al perfil del suelo y debe corresponder al agua consumida por el cultivo entre dos riegos consecutivos, los cultivos consumen agua debido al efecto de las condiciones ambientales o climáticas, que generan una diferencia o gradiente de potencial entre el agua que ésta en la planta y en el suelo, por una parte y el vapor de agua que hay en la atmósfera (Gurovich, 1999).

Se denomina riego localizado, o microrriego, a un riego a presión en el cual el agua es aplicada a la parte de la parcela cultivada en la que se desarrollan las raíces de la planta.

La aplicación del agua en riego localizado, a semejanza del riego por aspersión, exige una red de tuberías principales, secundarias, terciarias y ramales porta emisores normalmente enterradas a excepción de los ramales. Los dispositivos a partir de los cuales se aplica el agua al suelo y en la zona radicular, se denominan emisores los cuales se colocan equidistantes en el lateral o por grupos en el caso de algunos cultivos leñosos (Tarjuelo *et al.*, 2010).

Permite un importante ahorro de agua con respecto a los demás métodos de riego, aplicándola con una intensidad reducida y alta frecuencia con esta técnica se pretende que el agua en el suelo se mantenga a niveles casi invariables. El agua que aplica cada emisor moja el suelo a esta superficie se le conoce como bulbo húmedo.

Burt (1995) señala que los sistemas de riego presurizados, sean por microaspersión o por goteo, deben ser bien diseñados para asegurar un incremento significativo de los beneficios de la inversión tan alta del capital, que es necesario para la instalación de estos tipos de sistemas la de aplicación de agua. Los países en desarrollo y, especialmente los agricultores habituales, no pueden tolerar el gasto de sus recursos preciosos y limitados de capital en sistemas de

riego presurizados mal diseñados, los cuales pueden reducir drásticamente sus rendimientos de cultivos por debajo de lo esperado en el método tradicional de riego.

El mismo autor indica que dentro del riego localizado se encuentra el riego por goteo, tuberías emisoras y el riego por microaspersión:

- ✓ Riego por goteo: Existe el goteo superficial y goteo subterráneo, como se muestra en la Figura 2.1.



Figura 2.1. Ejemplo de riego por goteo (Toro, 2013).

- ✓ Tuberías emisoras: Comprenden las tuberías goteadoras y mangueras exudantes (Figura 2.2.).



Figura 2.2. Ejemplo de riego por manguera exudante (AquaFlex, 2013).

- ✓ Riego por microaspersión: La Figura 2.3. muestra un microaspersor en funcionamiento.



Figura 2.3. Ejemplo de riego por microaspersión (Toro, 2013).

En riego localizado, especialmente en riego por goteo, los espaciamientos entre emisores, los caudales y presiones a los que se operan son muy bajos, por lo consiguiente, en general la duración en que se aplica el agua y los intervalos entre riego son menores que en el riego por aspersión.

Matta (1998) afirma que el riego localizado reduce los costos de mano de obra al no necesitarla para su funcionamiento, normalmente se hace mediante dispositivos automáticos o semiautomáticos, no obstante los emisores y sistemas de control necesitan ser inspeccionados regularmente; el riego localizado no favorece el crecimiento de malas hierbas, además que los herbicidas se pueden aplicar con el agua de riego, así mismo también los fertilizantes pueden ser aplicados (fertirriego). Para que esta forma sea eficaz es indispensable disponer de un sistema de riego bien diseñado y con buenos materiales para aplicar el agua con alta uniformidad. Esto permitirá suministrar la misma dosis de abono en todos los puntos, cubriendo así sus necesidades, evitando pérdidas innecesarias y reduciendo los efectos medioambientales negativos.

La función principal de este tipo de riego es el ser un soporte para las plantas proporcionando agua y nutrientes pero en un volumen reducido, cuanto más frecuentes sean los riegos permitirán mantener una alta humedad del suelo y

baja la concentración de sales; así mismo puede ser diseñado, en casi todo tipo de topografía.

La uniformidad en el reparto del agua en riego localizado depende principalmente del diseño hidráulico y no de las características del suelo ni de las condiciones climáticas, siendo buena la uniformidad de aplicación si existen pequeñas diferencias de presión en el sistema. La eficiencia de aplicación del agua puede ser elevada si el diseño y el manejo son correctos (Fernández, 2010).

La inversión inicial en este tipo de riego suele ser elevada y su costo depende del cultivo, del tipo de riego, de la calidad del agua de riego, su filtrado, del fertirriego, del tipo automatización de la instalación, etc.

Pizarro (1996) dice que en riego localizado el principal interés debe ser en el mantenimiento, puesto que suelen taparse los emisores, debido al filtrado o a algún daño de tipo biológico, ya que si los problemas de obstrucción no son detectados a tiempo puede repercutir en un problema en el que se verían afectados el cultivo y la rentabilidad.

2.1.1. Descripción de los Componentes

En todo sistema de riego localizado según López *et al.*, 1992 el agua debe entrar con suficiente presión (la necesaria) para que funcione adecuadamente. El riego localizado tiene principalmente tres componentes:

- ✓ Cabezal de riego
- ✓ Red de distribución
- ✓ Emisores

El agua es extraída de la fuente de abastecimiento pasando por el cabezal de riego, donde es tratada con filtración, después pasa a la red de distribución por la cual es entregada a través de las tuberías a las unidades y subunidades,

finalmente para que sea otorgada al cultivo mediante los emisores. En casi todos los sistemas de riego es muy similar la distribución de los componentes de riego, aun cuando el cultivo sea distinto, es preciso hacer que los materiales con los que se pretende trabajar sean de buena calidad, aunque la inversión en un principio sea elevada, pero a largo tiempo tiende a ser rentable, para que no se vea afectado el cultivo o disminuya la producción de este (Figura 2.4.).

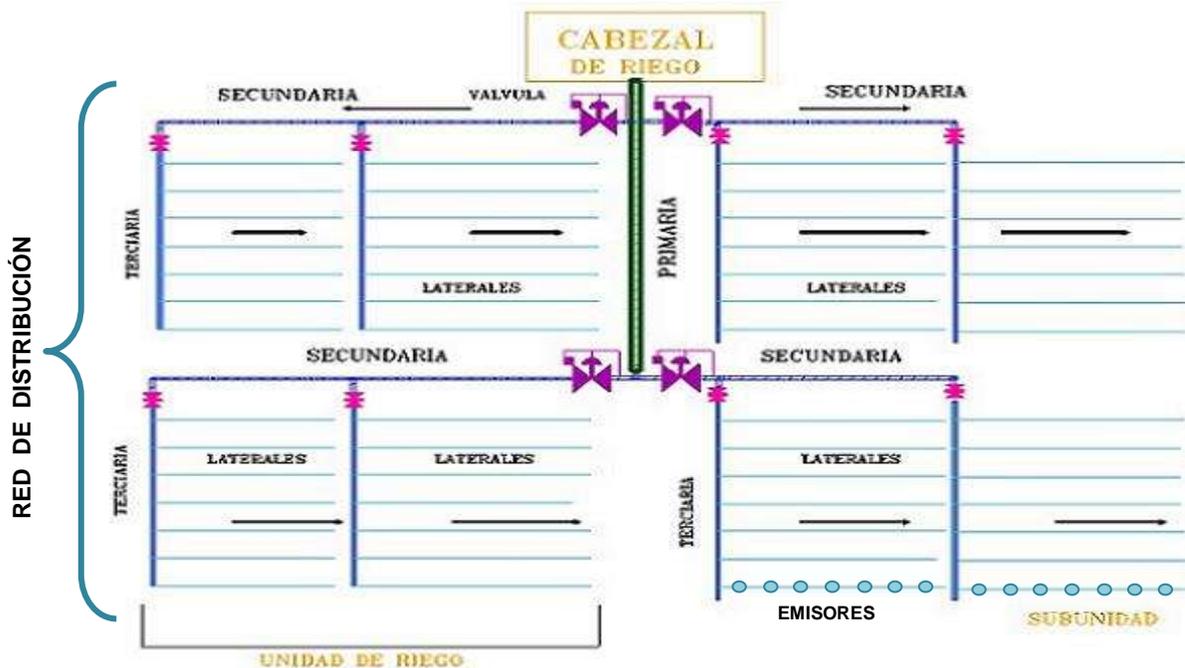


Figura 2.4. Componentes generales de un sistema de riego localizado (Fernández, 2010).

Cabezal de riego:

Dicho autor considera que es un conjunto de elementos los cuales hacen las funciones de bombeo, tratado, filtrado, medición, suministro y control de la presión del agua de riego, que será entregada a la red de distribución. En algunos casos se permite la fertilización. Cuenta con los siguientes elementos:

- ▲ Fuente de abastecimiento: Puede ser un pozo, canal, arroyo, etc.

- ▲ Bomba: Los sistemas de riego localizado necesitan presión para que el agua pueda llegar hasta los emisores y pueda ser entregada al cultivo, ya que haciendo las diferentes consideraciones de pérdidas de carga que existen en el sistema no sería factible hacer tanques elevados para hacer entrega del agua con la presión correcta. Esto se puede lograr en lugares donde la topografía lo permita, aprovechando los desniveles que existan.
- ▲ Equipo de filtrado: El principal problema que se tiene es el taponamiento de los emisores, ya que pueden producirse por partículas minerales, orgánicas y por el precipitado de sales, si esto no se trata puede afectar al cultivo. Para poder evitar esto se colocan una serie de filtros en el cabezal de riego, los tipos de filtros dependen de la calidad del agua y del caudal. Existen filtros como: El Filtro de malla (Figura 2.5. a) y Filtro de anillos (Figura 2.5. b), se utilizan principalmente para detener material sólido. Filtro de arena (Figura 2.5. c) principalmente detiene las partículas coloidales finas y microorganismos. Hidrociclón (Figura 2.5. c) este tipo de filtro es utilizado para eliminar del agua material disperso, por lo regular se utiliza junto con otro tipo de filtro.

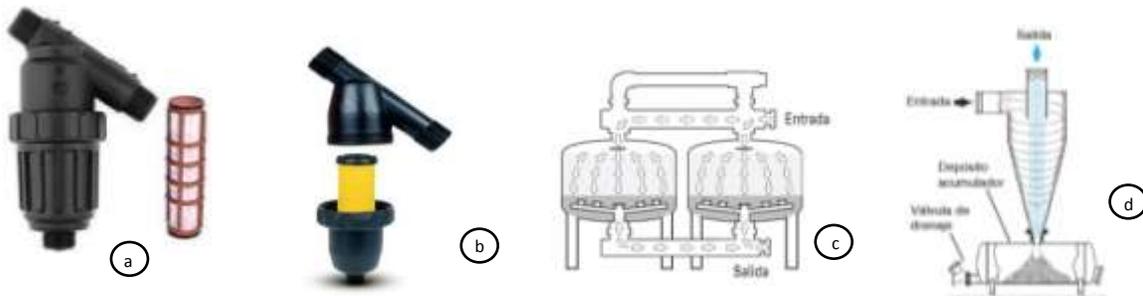


Figura 2.5. Tipos de filtros a). Filtro de malla b). Filtro de anillas c). Filtro de arena d). Hidrociclón.

- ▲ Manómetros: Su función es indicar la presión con la que está siendo conducida el agua en el sistema.
- ▲ Regulador y Medidor volumétrico: Se programan para permitir el paso del caudal en un determinado tiempo.

- ⤴ Equipo de Fertirriego: Este sistema sirve para la inyección de fertilizante en el agua de riego (fertirrigación) u otros productos fitosanitarios (quimirrigación) y para la inyección de productos que permitan que los emisores no sean obstruidos. Permite la aportación de nutrimentos al cultivo necesarios para su desarrollo. Estos pueden ser tanques de fertilización, inyectoros tipo Venturi e Inyectoros.

Red de distribución:

Está formada por una serie de tuberías y accesorios que se adaptan a la red que llevan el agua tratada y filtrada desde el cabezal hasta los puntos de descarga (emisores). Está conformada por los siguientes elementos:

- ⤴ Tubería principal: Es la tubería que parte del cabezal de riego.
- ⤴ Tubería Secundaria: Es la que distribuye el agua a las unidades de riego.
- ⤴ Tubería Terciaria: Es la que entrega el agua a las subunidades de riego también es conocida como Manifold o Distribuidora.
- ⤴ Laterales: También conocidas como líneas regantes, portan los emisores.
- ⤴ Elementos de conexiones: Arreglan parte importante en la red de distribución de agua. Son piezas especiales diseñadas para empalmar tubos o reducir diámetros, cambiar direcciones o simplemente conexiones.

Emisores:

Son los elementos de la red que producen y controlan la salida del agua desde los laterales. Lo más frecuente es que los emisores estén equidistantes unos de otros, para que no se unan los bulbos húmedos, aunque también existen emisores que se aplican de forma continua, que crea una banda de humedad en el

suelo. De acuerdo el tipo de emisor usado es como recibe el nombre el tipo de sistema de riego.

2.1.2. Ventajas y Desventajas

Según Fernández (2010) el riego localizado también posee ventajas y desventajas que varía de acuerdo al tipo de sistema de riego que se desee:

- ✓ Ventajas: Se puede aplicar en casi cualquier tipo de suelo, con diferente topografía; se tiene un ahorro importante de agua; no implica que el terreno esté nivelado; se tiene una mayor productividad y rentabilidad del cultivo; se puede adelantar la época de cosecha; puede ser automatizado totalmente; no impide la realización de labores del cultivo; permite utilizar aguas con alto contenido de sales; se puede tener un ahorro en cuanto fertilizantes y agroquímicos; se tiene menor incidencia de malas hierbas.
- ✓ Desventajas: Obstrucción de los emisores; alto costo de inversión; desconocimiento del método de riego; se debe de disponer de tuberías, conexiones y emisores que sean resistentes a altas presiones y a las condiciones ambientales; los fertilizantes que se ocupan deben de ser lo suficientemente solubles para evitar taponamiento de emisores; existe la posibilidad que se tenga una mayor incidencia a la plagas y enfermedades debido a la alta humedad del suelo; se necesita un técnico especializado para el manejo del sistema; daños a las tuberías a causa de los roedores; peligro a la salinidad de no ser usada adecuadamente el agua de riego.

2.2. Riego por Goteo

Historia del riego por goteo

Balogh y Gergely (1985) indican que la historia del riego por goteo, tiene al menos tres rama; L. Blass en Inglaterra, S. Blass en Israel y P. Celestre en Italia; independientemente comenzaron el desarrollo de nuevos métodos de riego. La invención de tuberías de plástico y algunas conexiones hizo posible a empezar el riego por goteo moderno.

L. Blass tuvo un nuevo invento para que obtuviera la patente en Inglaterra en 1953 fue aplicado por las empresas de Cameron y Wright-Rain, estas empresas introdujeron el nombre de “trickling irrigation” como un nuevo método, que en un principio fue propuesto solamente para invernaderos.

P. Celestre se le concedió la patente en 1951 por un nuevo sistema de riego y drenaje, para el estadio olímpico de Roma, lo llamó “drip irrigation” fue propuesto solamente por él en 1960.

Simja Blass, a finales de 1950 el ingeniero israelita, y su hijo Yeshayahu, comenzó a conducir el agua para que se liberara por tuberías más grandes y más largas empleando el frotamiento para hacer lenta la velocidad del agua en el interior de un emisor (gotero) de plástico. El primer sistema experimental de este tipo fue establecido en 1959 cuando la familia de Blass en el Kibboutz Hatzerim creó una compañía de riegos llamada Netafim.

Que es el riego por goteo

Nakayama y Bucks (1986) señalan que el riego por goteo es la baja aplicación de agua en o debajo del suelo, por goteo superficial, goteo sub-superficial, el agua es aplicada en forma de gotas discretas o continuas donde un pequeño volumen de agua es descargado en el punto de emisión (gotero).

Es el sistema de riego localizado más popular, donde los goteros usualmente trabajan con presiones de 1 Kg/cm^2 , normalmente conocido como kilo; entregan al cultivo caudales desde 2 – 6 litros por hora (LPH).

El riego por goteo de acuerdo con López *et al.*, 1992 se clasifica conforme al tipo de emisor utilizado:

- ▲ Riego por goteo superficial: Las tuberías laterales y goteros son superficiales.
- ▲ Riego subterráneo: En este tipo de goteo las líneas regantes van enterradas entre 20 y 30 centímetros, donde los goteros aportan el agua a esa profundidad. Su inconveniente es que los emisores tengan obstrucciones y esto dificulta detectar fallos en el sistema así como su reparación.

2.3. Riego por Microaspersión

Historia del Riego por Microaspersión

Pizarro (1996) asegura que el riego por microaspersión es un sistema de riego presurizado que nació en el país de la cuna del riego por goteo, Israel. Este sistema de riego, en la última década ha tenido gran aplicación en el riego de árboles frutales e invernaderos. Se le puede considerar como el resultado de cruzar el sistema de riego por goteo con el sistema de riego por aspersión. Este sistema nace a causa de los problemas que presenta el riego por goteo en terrenos con textura arenosa, ya que en este tipo de suelos no se forma bien el bulbo de mojado característico de éste sistema de riego.

La microaspersión reemplazo la aspersión con resultados positivos, desafortunadamente la experiencia acumulada no fue publicada suficientemente y desde 1982 se empezó a coleccionar material. El resultado fue reservado pero la

experiencia acumulada con los fabricantes dio lugar a realizar una edición sobre el tema (Armoni, 1989).

Es una variante del riego por aspersión pero del tipo localizado; en el riego por microaspersión el agua se distribuye en forma de lluvia muy fina sobre un diámetro no mayor de 6 m, diseñados y recomendados en frutales bajo las copas de los árboles, mejor conocida como aspersión radical ya que forma un círculo de mojado alrededor de las raíces, el agua se aplica mediante emisores llamados microaspersores. Utilizando caudales entre 16 y 200 LPH, donde el aire es la principal fuente de difusión (Quinzá, 1993).

La microaspersión es un tipo de riego sin superposición ya que no están sobrepuestos los círculos de mojado, se utiliza un emisor por árbol. Los difusores de los microaspersores tienen varias formas de asperjar el agua, como la lluvia en círculos o sectores de círculos, la nebulización y los chorros.

Los microaspersores deben seleccionarse con gastos adecuados para evitar encharcamientos y escurrimientos de agua. Deben de utilizarse láminas precipitadas horarias que no excedan la velocidad de infiltración de agua en el suelo. El microaspersor y/o microjet riega un espacio más amplio y más uniforme dentro de la zona radicular de los árboles frutales (Arteaga, 1993).

De acuerdo con Gurovích (1999) las características más sobresalientes de los sistemas de riego por microaspersión son:

- ▲ Aplica el agua en forma de rocío.
- ▲ Un mismo microaspersor tiene accesorios necesarios que pueden ir cambiando y adaptando las distintas etapas de desarrollo de cada especie de frutal en particular, de esta manera puede irse controlando el diámetro de mojado del microaspersor.
- ▲ Instalación más sencilla que el riego por goteo.

- ▲ Fácil de identificarse, porque cada diámetro de boquilla tiene un color específico y determina el gasto en LPH en los microaspersores regulados o compensados.
- ▲ Pueden ser usados para moderar microclimas.
- ▲ La microaspersión se utiliza más en árboles frutales, debido a que en riego por goteo, para cumplir los requerimientos de agua se tiene que utilizar doble manguera o doble línea por surco de árboles.
- ▲ Tiene bastante uso en riego de invernaderos donde la humedad y temperatura de los mismos debe estar bien controlada.
- ▲ Se pueden aplicar fertilizantes a través del sistema.

El riego por microaspersión está clasificado en los emisores llamados microaspersores y difusores de acuerdo con Liotta (2000):

- ▲ Microaspersores: Son aspersores de baja presión y caudal, que contienen piezas móviles (Figura 2.6.).

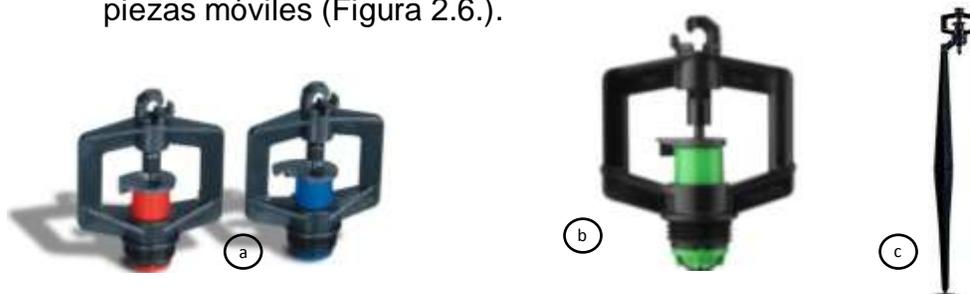


Figura 2.6. Ejemplos de microaspersores a). Clásico b). Autocompensado c). Microaspersor con estaca (Toro, 2013).

- ▲ Difusores: Como se muestran en la Figura 2.7. el agua sale por un orificio y choca contra un deflector fijo que distribuye el agua, no contiene piezas móviles.



Figura 2.7. Ejemplo de difusores y boquillas (Toro, 2013).

2.4. Emisores

Tarjuelo *et al.*, (2010) comentan que los emisores son los dispositivos usados que disipan la carga hidráulica liberando un pequeño caudal de modo constante. Dependiendo de las características hidráulicas de los emisores determina los caudales descargados, si los emisores están alejados entre sí dan origen a bulbos mojados individuales y cuando el agua es descargada a través de salidas muy próximas crean un bulbo húmedo continuo.

El autor anterior señala que los emisores que están más separados unos de otros se llaman goteros y los que están menos distanciados son los difusores. Los microaspersores son emisores semejantes a los aspersores pequeños concebidos para disipar la presión y soltar un pequeño chorro de agua uniforme que cubre una superficie de 1 a 10 m².

Los más utilizados a nivel internacional son los de 4 LPH. Las características que debe cumplir un buen emisor son las siguientes:

- ▲ Buena relación entre calidad y precio.
- ▲ Alta uniformidad de fabricación.
- ▲ Fácil instalación.
- ▲ Resistente a las condiciones de trabajo.
- ▲ Caudal uniforme.
- ▲ Poco sensible a las obturaciones.

Aunque no se requiere que cumplan todas las características en un solo emisor, es lo más favorable.

Fernández (2010) afirma que un fabricante debe proporcionar las siguientes particularidades para conocer el emisor:

- ▲ Presión nominal: A la que está diseñada el emisor y a esa debe funcionar.
- ▲ Caudal nominal: Es el que emite el emisor cuando funciona a la presión nominal.
- ▲ Coeficiente de variación de fabricación (Cv): Es un dato que indica la variabilidad que se produce en el proceso de fabricación de los emisores.
- ▲ Pérdidas de carga en la conexión.

Sin embargo, los emisores pueden proporcionar diferente caudal si trabajan a diferente presión a la nominal, para esto se tiene la curva de gasto contra carga que también debe de ser suministrada por el fabricante.

Tarjuelo *et al.*, (2010) señalan que los emisores pueden ser clasificados según numerosos criterios: el régimen de descarga, la disipación de la presión, la conexión a la tubería, la distribución del agua, la forma de la sección transversal, la capacidad de obstruirse, la capacidad de compensar las variaciones de presión, el material de construcción entre otras.

2.4.1. Clasificación de los Emisores

Loboa *et al.*, (2011) dice que según la forma en que aplican el agua se catalogan en:

- ✓ Goteros
- ✓ Microaspersores y difusores
- ✓ Tuberías emisoras

Goteros: Son de pequeño caudal y constante, poco sensible a las variaciones de presión (Medina, 1981). Poseen caudales inferiores a 20 LPH.

Según la forma en que se colocan en las laterales los goteros:

- ▲ Interlinea o insertados: Se instalan cortando la tubería y empalmando por ambos lados.
- ▲ Pinchados: Se colocan en un orificio previamente punzado en la tubería.
- ▲ Integrados: Se constituyen en la tubería durante su proceso de fabricación.

Dependiendo la presión a la que trabaje:

- ▲ No compensantes: El caudal cambia cuando la presión aumenta, a mayor presión mayor caudal.
- ▲ Autocompensantes: De acuerdo a los límites de presión que indica el fabricante el caudal no varía.

Microaspersores y difusores: López *et al.*, (1999) afirman que son emisores que distribuyen el agua en el suelo en forma de fina lluvia sin llegar a humedecer toda la superficie del cultivo (por lo que se incluyen dentro de los emisores de riego localizado).

Los microaspersores tienen algunos de sus elementos móviles, generalmente efectuando un movimiento de rotación, mientras que los difusores tienen todas sus partes fijas, al igual que en los goteros, existen en el mercado microaspersores y difusores con dispositivo autocompensante; son más caros pero también están justificados cuando las parcelas de riego tienen cierta pendiente o laterales muy largos.

Los microaspersores más utilizados son los de bailarina, que permiten intercambiar las piezas móviles para adaptarlas a las condiciones requeridas por el cultivo en cuestión.

Los difusores se emplean principalmente en jardinería e instalaciones bajo plástico, invernaderos y semilleros, dado que generan un tamaño de gota tan fino que se dispersa muy fácilmente por el viento. Para solucionar este problema, se han desarrollado unos difusores llamados microjets que tienen un mayor diámetro de boquilla y generan pequeños chorritos de agua, con lo que la influencia del viento en la distribución del agua es muy pequeña.

Las boquillas y deflectores de microaspersores y difusores se fabrican con códigos de color que definen su caudal, forma de área regada y alcance.

Tuberías emisoras: Estas están en la superficie del suelo y crean una banda continua de humedecimiento y no en puntos localizados. De acuerdo con Bralts *et al.*, (1987) son frecuentemente utilizados en cultivos en línea ya que existe poca distancia entre plantas, entre las más destacadas existen tubería perforada, tuberías goteadoras y mangueras exudantes:

- ▲ Tubería perforada: son tubos de polietileno (PE) en los que se practican orificios espaciados regularmente. Dependiendo de la presión de trabajo, el agua puede salir goteando o bien en forma de pequeño chorro. Normalmente trabajan a presiones próximas a 1 kilo.

- ▲ Tubería goteadora: Constan de dos partes diferenciadas: el tubo propiamente dicho que conduce el agua y un laberinto que disipa la presión y produce la salida del agua gota a gota. Su duración y costo son menores. Presentan el inconveniente de que por tener poco espesor, pueden ser atacadas por roedores.
- ▲ Tubería porosa o exudante: El agua sale de la tubería y se aplica al suelo a través del material poroso con que está fabricada. Trabajan a presiones muy bajas, en torno a 0.1–0.3 kilos, y suministran una banda de humedad que es completamente continua.

2.4.2. Hidráulica de los emisores

Tarjuelo *et al.*, (2010) aseveran que las características hidráulicas de cada emisor está directamente relacionada con el régimen de flujo de agua cuando está atraviesa cada emisor, el cual está caracterizado por el número de Reynolds

$$Re = V * D/\nu$$

Donde:

V= es la velocidad media.

D= el diámetro.

ν = la viscosidad cinemática.

Relación caudal-presión

García y Briones (1986) afirman que de acuerdo a la relación caudal-presión la ecuación representativa es la siguiente:

$$q = K H^x$$

Donde:

q= caudal del emisor (LPH).

K= coeficiente de descarga (adimensional).

H= presión a la entrada del emisor (mca).

x= exponente de descarga (adimensional).

Los valores K y x son característicos de cada emisor. Según López *et al.*, (1992), (mencionado por Muñoz, 2002), para reducirlos se aplican las siguientes fórmulas a los datos o pares de valores de caudal-presión.

$$x = \frac{\ln \frac{q_1}{q_2}}{\ln \frac{h_1}{h_2}} \qquad K = \frac{q_1}{h_1^x}$$

Donde:

x= es adimensional.

q1= primer gasto del emisor (LPH).

q2= segundo gasto del emisor (LPH).

K= es adimensional.

h1= primera carga del emisor.

El exponente de descarga x, es una medida de la sensibilidad de los emisores a la variación de presión, la relación carga – gasto, se representa gráficamente en la Figura 2.8.:

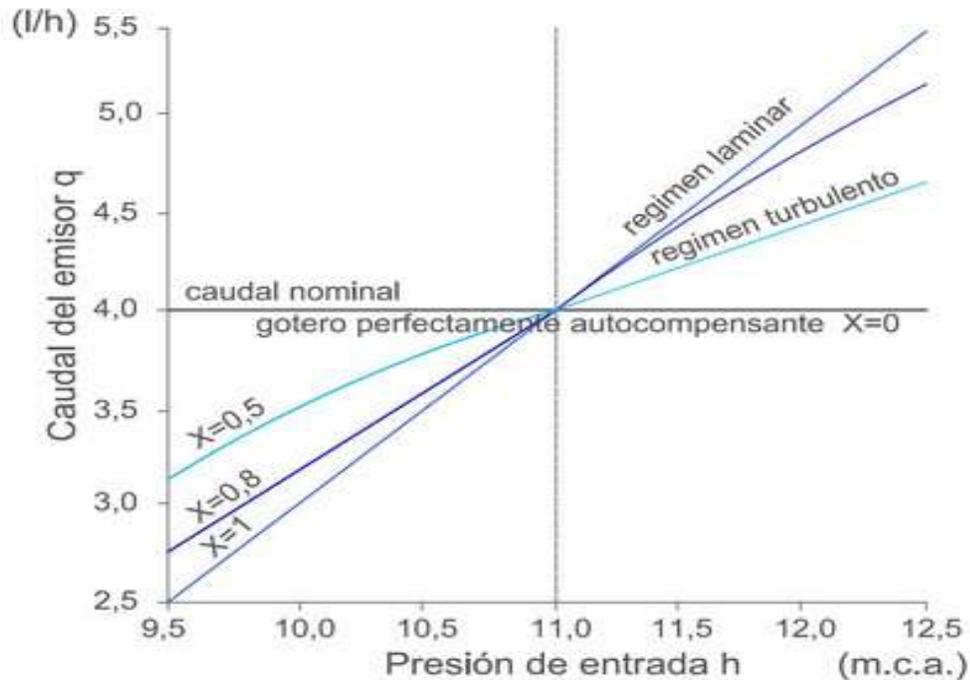


Figura 2.8. Gráfica de Relación de Carga Vs Gasto (Loba, 2011).

En el Cuadro 2.1. se señalan algunos valores del coeficiente de descarga x de la sensibilidad de variación de los emisores a la presión.

Cuadro 2.1. Exponentes de descarga de los emisores (Pizarro, 1990).

Emisor	x
- De régimen laminar	1
- Microtubos	0.75 - 1
- Helicoidal	0.65 - 0.75
- De régimen turbulento (orificio, de laberinto)	0.5
- Vortex	0.4
- Autocompensate	0 - 0.4
- Teórico perfectamente autocompensante	0

Coeficiente de variación

El Coeficiente de variación (C_v) de fabricación de un emisor es un buen indicador de la variabilidad de los caudales proporcionados por emisores nuevos, debiendo suministrarse por los fabricantes los valores esperados para los C_v de

los respectivos emisores, aunque puede ser obtenido por los usuarios en ensayos de laboratorio poniendo a funcionar por lo menos 50 emisores simultáneamente.

La variabilidad de fabricación se clasifica en la Tabla 2.2, de acuerdo a la EP 405.1, ASAE, 2003 (mencionada por Tarjuelo, 2010).

Cuadro 2.2. Clasificación de la calidad de los emisores según el coeficiente de variación de fabricación.

Clasificación	C_v
Emisores por punto	
Excelente	< 0,05
Buena	0,05 a 0,07
Marginal	0,07 a 0,11
Mala	0,11 a 0,15
Inaceptable	> 0,15
Emisores en línea continua	
Buena a excelente	< 0,10
Media	0,10 a 0,20
Mala a inaceptable	> 0,20

2.5. Características del Diseño Hidráulico del Riego Localizado

El diseño hidráulico determina los componentes, dimensiones de la red y funcionamiento de la instalación del riego, de esta manera para que se puedan aplicar las necesidades de agua al cultivo en el tiempo que se haya establecido, que se analizó en el diseño agronómico (Fernández, 2010).

El dimensionado hidráulico de las tuberías, tuberías portaramales con gotero y ramales porta goteros exige mucha atención, puesto que las cargas hidráulicas son pequeñas (generalmente de 7 a 15 m) en numerosas ocasiones, del mismo orden de valor o superiores a las variaciones de cota en el sistema. Las bases y metodologías de cálculo se exponen y desarrollan en varios manuales (Keller y Bliesner, 1990; Burt y Styles, 1994; Tiercelin y Vidal, 2006), mencionado por Tarjuelo *et al.*, (2010).

Bralts *et al.*, (1981) afirma que el agua que aportan los emisores deberá ser lo más uniforme posible, es decir, todos los emisores deberán aplicar aproximadamente la misma cantidad de agua, por lo que la uniformidad constituye el punto de partida del diseño hidráulico de cualquier instalación de riego localizado. Para lograr una buena uniformidad es necesario:

- ✓ Que todos los emisores de la instalación sean de buena calidad, garantizados por el fabricante y que cumplan las normas de calidad.
- ✓ Que la presión del agua en todos los emisores sea lo más parecida posible, para lo que habrá que dimensionar la red correctamente.

El agua dentro de su recorrido por la instalación va perdiendo presión como consecuencia de su paso por conexiones, rozamientos con las paredes de las tuberías, cambios bruscos de dirección, cuando pasa por los filtros, etc. A esta pérdida de presión se le conoce como pérdida de carga. De igual manera, también se producirán pérdidas de presión cuando el recorrido del agua en la tubería sea ascendente, mientras que ganará presión cuando sea descendente.

Karmeli y Keller (1974) comentan que los fabricantes deben de facilitar tablas o gráficas con las relaciones caudal-presión para los goteros y presión-caudal-diámetro de mojado para los microaspersores, esto nos permitirá estimar los parámetros de la ecuación de los emisores y poder conseguir las ecuaciones que relacionan la presión con el diámetro de mojado.

Fernández (2010) dice que la longitud de las tuberías laterales o regantes está determinada por la topografía del terreno, es menor la longitud cuando la pendiente es en contra (ascendente) y aumentando cuando la pendiente es a favor (descendente).

En terrenos en los cuales la pendiente es muy elevada, es aconsejable instalar las tuberías laterales siguiendo las curvas de nivel, mientras que si la pendiente es muy irregular, debemos de recurrir a los emisores Autocompensantes para así mantener constante la presión y caudal del emisor,

usando autocompensantes se puede aumentar las longitudes de las laterales de riego.

A la tubería distribuidora o manifold lo más recomendable es que se le proporcione el agua en el punto más alto para que las pérdidas de carga sean menos por la pendiente.

Fernández (2010) comentan que es conveniente que se le instale un regulador de presión a cada distribuidora para que la presión de entrada en cada subunidad o bloque de riego no varíe y así el emisor que esté sujeto a menor presión reciba el caudal adecuado para suministrar al cultivo. Hay que tener en cuenta que cuanto mayor sea el diámetro de las tuberías y menos su longitud, la diferencia de presión entre los emisores más y menos favorables será menor (ya que hay menos pérdida de carga) y en consecuencia se podrá producir una menor uniformidad como lo muestra la Figura 2.9.

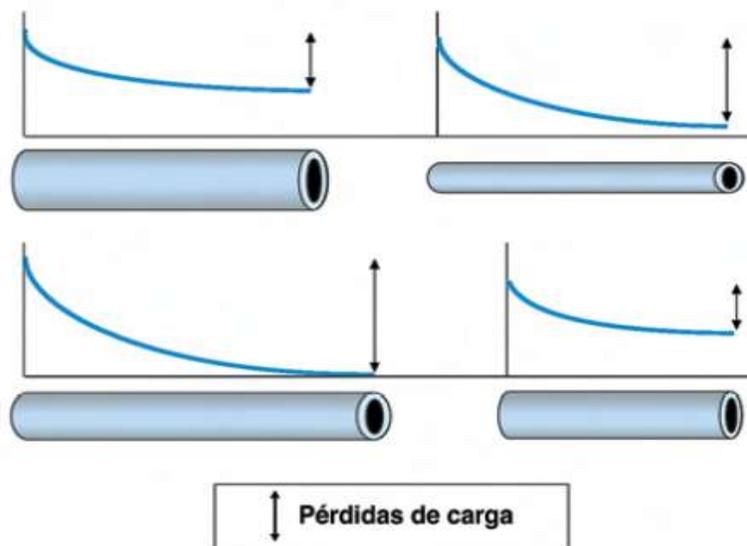


Figura 2.9. Relación entre las pérdidas de carga que se originan en una tubería de riego a presión y su diámetro o longitud (Fernández, 2010).

En otras palabras:

- ✓ A mayor diámetro de las tuberías se reducirían las pérdidas de carga, por lo tanto se podría aumentar la longitud de los laterales, pero el costo de la instalación se incrementaría.
- ✓ El caudal del emisor determina la longitud de la tubería lateral, de tal forma que en cuanto mayor sea el caudal del emisor, menor será la longitud del lateral.
- ✓ La distancia entre los emisores también repercute en la longitud de la lateral, de tal forma que cuando están más distanciados, mayor longitud tendría la tubería lateral.

Según la Universidad de Sevilla en sus cursos en línea (2013), señala que para el diseño de una subunidad de riego, independientemente de la forma del dibujo de la red de riego, los cálculos hidráulicos consisten en determinar en primer lugar los caudales en laterales, terciarias (distribuidora) y a continuación, teniendo en cuenta la tolerancia de presiones (obtenida a partir de la tolerancia de caudales), calcular para las mismas tuberías los diámetros y régimen de presiones. Esta es la fase más complicada del cálculo hidráulico y con ella acaba el diseño de la subunidad. El resto del diseño (secundarias, primarias y cabezal) es más parecido al de cualquier red tradicional de riego por tuberías, con algunas particularidades en el caso del cabezal de riego.

La Figura 2.10 muestra la secuencia del diseño hidráulico de un riego localizado desarrollándose después del diseño agronómico y tomando en cuenta factores como características del emisor elegido, topografía, área total a regar, fórmulas y ecuaciones.

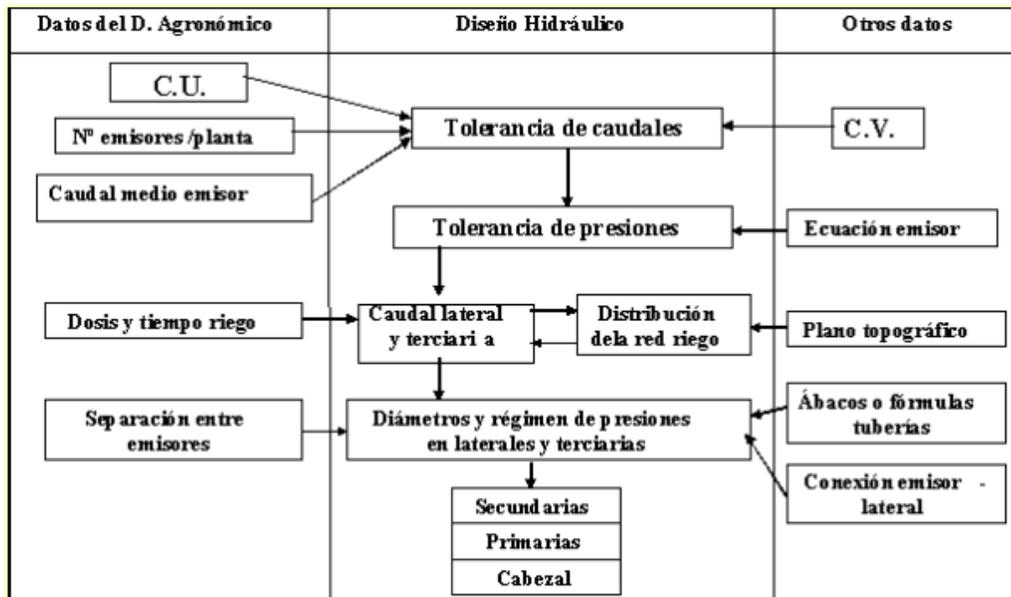


Figura 2.10. Esquema general de un diseño hidráulico de riego localizado (Universidad de Sevilla, 2013).

2.6. Uniformidad

Pizarro (1996) plantea que la uniformidad es una magnitud que caracteriza a todo sistema de riego y que además interviene en su diseño, tanto en el agronómico, como en el hidráulico. Niveles altos de uniformidad, incidirán notablemente en la eficiencia de riego, ya que de esta depende el agua que se suministra a unas plantas y a otras, lo que repercutirá en los rendimientos de manera significativa.

El autor mencionado anteriormente afirma que en el riego localizado es provechoso realizar una prueba de evaluación, de esta manera conocer si el agua de riego, los fertilizantes y productos químicos que se incorporan a ella se están aplicando de manera uniforme. Cuando la uniformidad de aplicación es baja se traduce en excesos de agua y otras con déficit hídrico, además de un mal reparto de abono y productos químicos. Todo ello supondrá una alteración del desarrollo del cultivo y por tanto, de la producción.

En una evaluación de un sistema de riego localizado, se elige la unidad de riego más representativa de la instalación, la cual debe de ser la del tamaño medio y con pendiente promedio, de ser posible que se encuentre en la zona central y que los laterales tengan longitud media, en otro caso también podría considerarse aquella unidad que tenga las condiciones menos favorables, la más alejada al cabezal, con laterales más largas, etc.

Una vez que se ha elegido la unidad de riego representativa, se elige la subunidad usando el mismo criterio que para la unidad, primero se determina el coeficiente de uniformidad de la subunidad y después el de la unidad. Para la uniformidad en campo se realizan la uniformidad de caudales y la de presiones (Fernández, 2010).

Medina (1979) señala que en el sistema de riego por goteo, debido a que el agua se suministra en pequeñas cantidades al cultivo, que varía de acuerdo con sus necesidades, las pérdidas se reducen, es por tanto clasificado como un sistema de alta eficiencia. Si la uniformidad no es alta, habrá diferencias apreciables entre el agua que se suministra a unas plantas y otras, y por tanto el cultivo no será homogéneo y el rendimiento disminuirá.

La uniformidad de aplicación del agua en un sistema de riego por goteo depende primordialmente de dos factores: 1). Las características de los emisores; 2). El criterio usado en el diseño (García y Briones, 1986).

La uniformidad en la descarga de los emisores está asociada a la variabilidad propia entre goteros, su obstrucción, la topografía del terreno y las pérdidas de carga en la red (Nakayama y Bucks, 1986).

García y Briones (1986) describen que la uniformidad de aplicación depende completamente de la uniformidad en la descarga de los emisores a través de todo el sistema. La descarga no uniforme es causada por diferencias de presión debido a la pérdida de fricción y elevación, variaciones entre emisores, debido a tolerancias de manufactura, temperatura del agua y el taponamiento de emisores debido a la inadecuada filtración o a la mala calidad del agua.

Un objetivo fundamental de un sistema de riego por goteo bien diseñado y operado es suministrar suficiente caudal (filtrado) presurizado para adecuadamente irrigar las plantas menos humedecidas, por lo tanto la relación entre ambas descargas del emisor, la mínima y la promedio, es un factor clave de la uniformidad de emisión. La calidad del cultivo y la productividad pueden resultar afectadas tanto por el déficit como por el exceso en la aplicación.

Los parámetros para determinar la uniformidad son:

Según Karmeli y Keller (1974):

- ✓ 90% Excelente
- ✓ 80% Buena
- ✓ 70% Aceptable
- ✓ < 70% Pobre

Según el IRYDA mencionado por López *et al.*, (1999):

- ✓ 94% Excelente
- ✓ 86% Buena
- ✓ 80% Aceptable
- ✓ 70% Pobre
- ✓ < 70% Inaceptable

2.6.1. Uniformidad de Distribución (Du%)

La Uniformidad de Distribución (Du%) es una medida de que tan equitativamente es aplicada el agua a través del campo durante el riego, para este proceso de campo se determina la uniformidad de distribución de caudales.

De acuerdo con Karmeli y Keller (1974) los datos para la evaluación de campo de Eu, deben ser tomados a partir de descargas de los emisores en un mínimo de cuatro posiciones a lo largo de cuatro diferentes líneas laterales. Las posiciones para la colección de los 16 datos deben incluir los extremos y estar uniformemente espaciadas a través de toda una subunidad representativa de laterales. Esto se hace seleccionando al inicio, 1/3, 2/3 y al final de la distribuidora y se utiliza la misma metodología para la selección de los emisores en cada lateral.

La Uniformidad de Emisión (Eu) de la prueba de campo es la relación, expresada en porcentaje, de la descarga mínima promedio del emisor en la cuarta parte de los datos más bajos, con respecto a la descarga promedio general para todos los datos observados dentro del bloque; se expresa por la siguiente ecuación:

$$Eu = 100 \frac{qn}{qa}$$

Donde:

Eu= es expresada en porcentaje (%).

qn= es la descarga mínima promedio que se localiza en la cuarta parte de los datos en el rango más bajo, se expresa en LPH o GPH.

qa= es la descarga promedio del emisor de todos los datos de campo, LPH o GPH.

Esta metodología fue ampliada y desarrollada por Merriam y Keller (1978) y mencionado por García y Briones (1986) para evaluar la uniformidad de emisión (Eu%) la cual está estandarizada por el ASABE (1996) y está siendo popularizada por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos a través de su Servicio de Extensión, por lo mismo esta metodología es considerada relevante, congruente y pertinente en los programas de enseñanza en irrigación.

Cabe señalar que la metodología que maneja Merriam y Keller (1978) es tomada como sinónimo de Uniformidad de Distribución (Du%), ya que no implica más que pruebas de campo que relaciona a la aplicación del agua, para lo cual tenemos que la ecuación final es expresada:

$$Du = 100 \frac{qn}{qa}$$

2.6.2. Coeficiente de Uniformidad (Cu%)

Es el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (Cu%) que indica la uniformidad con que se distribuye el agua aplicada en el suelo. Si la uniformidad es baja existirá mayor riego de déficit de agua en algunas zonas y de filtración profunda en otras. Fue desarrollado por Christiansen en 1942, es una representación estadística de la uniformidad, utilizando principalmente en los sistemas de aspersión; es el parámetro de uniformidad de uso más generalizado. Se expresa en porcentaje con la siguiente ecuación:

$$Cu = 100 \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}} \right)$$

Donde:

x = lámina recolectada en cada punto de emisión.

\bar{x} = lámina promedio.

n = número total de emisores.

La expresión siguiente es la desviación estándar:

$$\left(\frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n} \right)$$

De esta manera la ecuación final queda expresada por:

$$Cu = 100 \left[1 - \left(\frac{Desv. est}{qa} \right) \right]$$

Donde:

Cu= está expresado en porcentaje (%).

Desv.est= es la desviación estándar de los valores individuales de las láminas recolectadas.

qa= es la descarga promedio del emisor de todos los datos, LPH o GPH.

2.6.3. Uniformidad de Emisión (Eu %)

Tarjuelo *et al.*, (2010) exponen que la Uniformidad de Emisión (Eu%) es útil como indicador de la previsión de la variación de los caudales a lo largo de una línea regante o de un bloque de riego. Esta expresada por la siguiente ecuación:

$$Eu = 100 \left[1 - \left(\frac{1.27 * Cv}{\sqrt{\#e}} \right) \right] \left[\frac{qn}{qa} \right]$$

Donde:

Cv= es el coeficiente de variación de fabricación del emisor

#e= es el número de emisores por planta (mayor a 1 en goteo y en microaspersores en algunos casos es igual a 1)

qn= es la descarga mínima promedio que se localiza en la cuarta parte de los datos en el rango más bajo, se expresa en LPH o GPH.

qa= es la descarga promedio del emisor de todos los datos, LPH o GPH.

2.6.4. Factores que Afectan la Uniformidad del Riego

La uniformidad del riego es un parámetro que caracteriza a todo sistema, desde el diseño hidráulico hasta su mantenimiento en el tiempo.

Reportes de Pizarro (1996) indican que la variación por manufactura y el taponamiento son los factores más importantes que afectan la uniformidad del riego por goteo. Al respecto, Nakayama *et al.*, (1981) encontraron que un porcentaje pequeño de emisores obstruidos puede reducir la uniformidad de aplicación de agua y Bratls *et al.*, (1981) informaron que esa obstrucción reduce el flujo total en la línea lateral y hace más alta la descarga de los emisores no obstruidos. Por su parte, Sietan y Ali (2003), concluyen que la uniformidad y eficacia son muy afectados por el daño y taponamiento de los emisores:

- ✓ Tipo constructivo: Los procesos de fabricación y los materiales utilizados hacen que emisores de un mismo modelo, sean diferentes entre sí y que proporcionen caudales diferentes para una misma presión de trabajo. Además, existen en el mercado diferentes tipos y calidades de emisores cuyo funcionamiento en el tiempo es muy variable.
- ✓ Mal diseño: Un inadecuado diseño del sistema, en el filtrado, incide directamente en la obstrucción de los emisores. Asimismo fallas en el diseño hidráulico de tuberías y laterales pueden someter al sistema a diferentes pérdidas de carga y variación de presiones no acordes al emisor seleccionado.
- ✓ Obturaciones: Es uno de los principales problemas que se presentan en las instalaciones de riego. Éstas se pueden producir por causas físicas, químicas y biológicas. Entre las físicas se encuentran los sólidos en suspensión (arenas, limos y arcillas) los problemas biológicos son a causa de las algas, microorganismos y bacterias, por último las químicas que son los precipitados, siendo el más común el carbonato de calcio.

- ✓ Temperatura: En los sistemas de riego localizado, las laterales de riego están situadas en el terreno y están expuestas a la radiación solar, esto hace que cuando el agua se calienta provoque diferencias en la descarga de los goteros, sobre todo en los últimos. Medina (1981) explica la variación de descarga en los goteros a causa de la temperatura por dos parámetros: el diseño del emisor y el material de fabricación.

2.7. Gradiente Hidráulico

Muñoz (2004) comenta que es la pérdida de carga o energía experimentada por unidad lineal de longitud recorrida por el agua. Es decir, representa la pérdida o cambio de potencial hidráulico, por unidad de longitud media en el sentido del flujo del agua.

$$\text{gradiente hidráulico} = \frac{\text{carga}}{\text{recorrido}}$$

Donde:

carga= es expresada en metros.

recorrido= es expresada en metros.

gradiente hidráulico= es adimensional.

En un sistema de riego los caudales del bloque no son los mismos en todos los emisores, debido a que existen diferencias de presiones a las que se encuentran sometidos que dependen de los desniveles topográficos y las pérdidas de carga en la red de riego.

En una subunidad de riego rectangular y sin pendientes, el esquema de presiones se describe como la Figura 2.11 que expresa el gradiente hidráulico de una subunidad de riego, donde: $H_0 = H_{\max}$ es la presión al inicio del campo en la distribuidora; q_{\max} es el máximo caudal de un gotero en el campo de riego; h_0 es la presión al inicio del lateral situado en el punto de presión media de la

distribuidora; h_m es la presión media de todo los goteros del campo; q_m caudal medio; h_{min} presión mínima de un gotero; q_{min} caudal mínimo de un gotero.

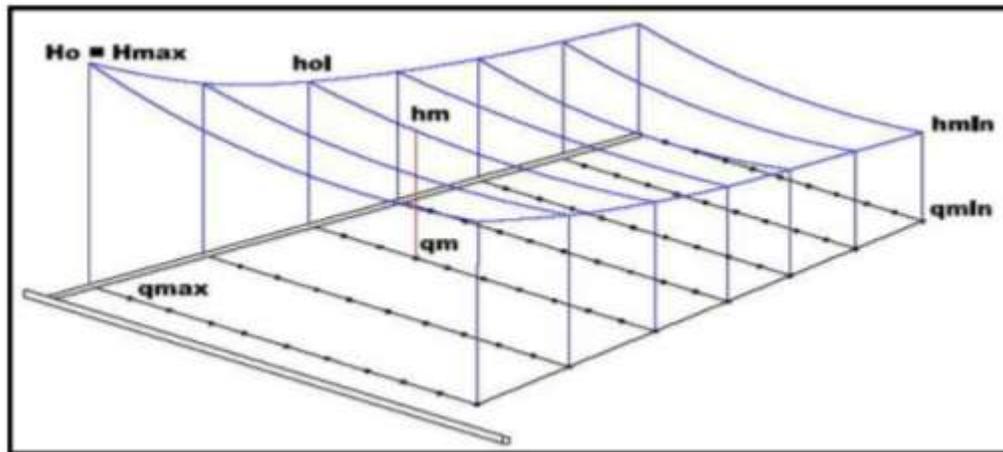


Figura 2.11. Simulación del gradiente hidráulico.

2.8. Método del Elemento Finito

De acuerdo con Celigüeta (2011) el Método de los Elemento Finito (MEF) es un método numérico general para la aproximación de soluciones de ecuaciones diferenciales parciales muy utilizado en diversos problemas de ingeniería y física.

El MEF está pensado para ser usado en computadoras y permite resolver ecuaciones diferenciales asociadas a un problema físico sobre geometrías complicadas. El MEF se usa en el diseño y mejora de productos y aplicaciones industriales, así como en la simulación de sistemas físicos y biológicos complejos. La variedad de problemas a los que puede aplicarse ha crecido enormemente, siendo el requisito básico que las ecuaciones constitutivas y ecuaciones de evolución temporal del problema a considerar sean conocidas de antemano.

Dicho autor asegura que el MEF fue al principio desarrollado en 1943 por Richard Courant, quien utilizó el método de Ritz de análisis numérico y minimización de las variables de cálculo para obtener soluciones aproximadas a un sistema de vibración. Como precursores del MEF debe citarse a Argyris y

Kelsey (Stuttgart, 1955) y a Turner, Clough, Martin y Topp (Boeing, 1956), aunque con posterioridad el número de autores en el campo del MEF ha sido enorme, siendo uno de los campos de la ingeniería a los que más esfuerzos de investigación se han dedicado.

Hasta la llegada del MEF, los sistemas continuos se abordaban analíticamente, pero por esa vía sólo es posible obtener solución para sistemas con geometría muy sencilla, y/o con condiciones de contorno simples. También se han utilizado técnicas de diferencias finitas, pero éstas plantean problemas cuando los contornos son complicados.

El MEF es una poderosa herramienta de cálculo que se aplica en ingeniería para emboquillar una tubería pivote, por ejemplo o para predecir las curvas de avance y recesión en riego por superficie, también se aplica en el cálculo del tiempo de estabilización de residuos arrastrados por una corriente de agua y para estimar los gastos escurridos.

2.8.1. Bloque Virtual de Riego Localizado

Sietan y Ali (2004) afirma que un bloque virtual de riego es un algoritmo que simula por el método del elemento finito la operación de un riego localizado y puede distribuir el caudal entregado por la válvula como si fuese un bloque real en campo. Una de las aplicaciones de un bloque virtual de un bloque de riego es la limitación de recursos, el ensayo de diversas propiedades de los componentes y ejecutar el sistema de riego para probar, de esta forma, simulando el comportamiento hidráulico de las líneas regantes (una por una) y de la línea distribuidora (manifold) para así poder predecir las cargas y gastos de cualquier componente accesorio o emisor.

2.9. IRRICAD Pro 11

Orellana, (2012) indica que IRRICAD es un programa de diseño de riego desarrollado específicamente para diseñar cualquier tipo de sistema de riego presurizado o de distribución del agua. Es mucho más que un paquete de dibujo, ya que combina las ventajas de diseño CAD con poderosas técnicas de dimensionamiento de tubería hidráulica y de análisis de redes y también proporciona selección automática de accesorios de tubería, generando así una lista completa de materiales. Los tipos de sistemas de riego que incluye son:

- ✓ Aspersores.
- ✓ Microaspersores.
- ✓ Goteo.
- ✓ Cinta de goteo.
- ✓ Invernaderos.
- ✓ Red de tubería principal.
- ✓ Distribución de agua.
- ✓ Campos deportivos.
- ✓ Campos de gol.
- ✓ Sistemas presurizados por gravedad.

2.9.1. Características de IRRICAD Pro 11

- ✓ Interfaz diseñada especialmente para entrar en los detalles del sitio y a los componentes del sistema más fácilmente.
- ✓ Cálculo del diámetro y análisis automáticos de la tubería para redes de tubería con o sin circuitos cerrados.
- ✓ Selección automática de los accesorios y generación de la lista de materiales.
- ✓ Módulo de información integral para proporcionar diseño y costeo de los informes.
- ✓ Patrones personalizables de los planos e impresión flexible en trazado de gráficos, impresoras o archivos PDF.
- ✓ Representación gráfica de la operación del sistema.
- ✓ Importación y exportación de archivos de imágenes y archivos de AutoCAD, incluyendo elevaciones.
- ✓ Fácil entrada y subdivisión de grandes bloques de las zonas de riego.
- ✓ Método avanzado para el cálculo y el uso de los datos de elevación en los cálculos hidráulicos.
- ✓ Representación visual de los errores en los datos importados.
- ✓ Propiedad de etiquetado rápido y la generación automática de una leyenda,
- ✓ Incluye válvulas, bombas y componentes de la instalación.
- ✓ Combinación de unidades métricas o inglesas.

2.9.2. Especificaciones Técnicas Generales

IRRICAD tiene una serie de características en la sección de entrada que mejoran el proceso de dibujo como acercar y alejar, la capacidad de mover, rotar y cambiar los elementos, diferentes grosores, colores y tipos, rejillas, y muchos otros. Un ejemplo muy útil es un enlace de selección, que es como poner una cuerda alrededor de la sección de su interés y le permite cambiar globalmente los elementos dentro del enlace muy rápidamente. Hay muchas más características de utilidad, demasiados para enumerar aquí, pero todos destinados a hacer el trabajo de los diseñadores más fácil.

Dibujo: La mayor parte de las características que normalmente se encuentran en los programas de dibujo CAD están disponibles y se pueden utilizar para dibujar la disposición física de una propiedad o de la superficie terrestre. Estos incluyen líneas, rectángulos, círculos, arcos, curvas, texto, etiquetas y símbolos. Los artículos se pueden dibujar con un mouse o digitalizadas a partir de un plan a escala, o importados de otros paquetes de CAD a través de ficheros DXF. Las cotas o líneas de contorno se pueden extraer o estar digitalizados e IRRICAD interpolará entre ellos y los utilizan en sus cálculos hidráulicos. Los contornos también pueden ser importados desde otros paquetes CAD de topografía o directamente a través de archivos DXF.

Outlets: Aspersores o goteros individuales se pueden seleccionar de las ventanas de diálogo y colocar en cualquier lugar en el plano. Círculo completo, círculo parcial o aspersores con válvulas en la cabeza también pueden ser utilizados. Por otra parte se incluye la posibilidad de especificar los puntos de demanda (presión y caudal) en los diseños. Esto es particularmente útil para el diseño de los sistemas de la línea principal.

Válvulas: Las válvulas se pueden seleccionar desde las ventanas pop-up y colocar en cualquier lugar en la línea de tubería. La pérdida por fricción a través de válvulas se calcula en la sección de diseño de IRRICAD. Otros elementos

hidráulicos diversos, tales como válvulas de aislamiento, válvulas de retención, manómetros etc. pueden ser seleccionados y utilizados en el diseño.

Tuberías: Los tubos se pueden poner y el tamaño especificado por el diseñador es indicado a IRRICAD durante el proceso de diseño. Sistemas ramificados, sistemas de bucle (red de anillo) o combinaciones de ambos también se pueden introducir.

Spraylines: Tuberías con rociadores igualmente espaciados o goteros, se pueden introducir fácilmente con el espacio ya sea fijo o ajustado para encajar de manera uniforme entre los dos puntos y para estar tan cerca como sea posible a la separación especificada por el diseñador.

Drip Tape: Sistemas que contienen laterales con emisores tales como líneas de goteo o cintas pueden ser diseñados en IRRICAD. Las rutinas de diseño son capaces de calcular el flujo en la cinta debido a su presión de entrada, la longitud y la pendiente.

Bloques: Bloques de laterales que contienen filas de aspersores, goteros o cintas pueden ser diseñados fácil y rápidamente en una configuración triangular o rectangular. La aspersión o goteo se selecciona de bases de datos emergentes. Los límites del bloque se dibujan con el uso de un ratón o un digitalizador de IRRICAD y llena automáticamente con el bloque de filas paralelas de aspersores o goteros en una dirección especificada. Varios cientos de aspersores o goteros se pueden introducir en un segundo.

Elementos Eléctricos: Elementos eléctricos pueden ser seleccionados de las bases de datos de pop-up y se colocan en el diseño. Estos elementos se incluyen en la lista de materiales. Los ejemplos incluyen cables, controladores, válvulas solenoide y luces exteriores.

Administración: La sección de gestión de IRRICAD permite al diseñador especificar la presión y el flujo, en su caso, en los suministros de agua. Si las áreas específicas se han introducido en la entrada de diseño, el tiempo de

funcionamiento necesario para aplicar una determinada cantidad de agua, se calcula el área. Se proporcionan dos opciones para la operación de la válvula. La primera permite tiempos de operación de válvula para válvulas individuales. El segundo permite la agrupación de válvulas, junto a las estaciones. Una selección de informes de zona o listado de un bloque de flujos, tiempos de operación, gestión de la válvula y los datos de la zona disponible.

Diseño: IRRICAD tiene dos opciones para elegir el tamaño de la tubería ellos son:

- ✓ Tamaño por la velocidad: Las tuberías y tubos de la línea principal de la zona son de tamaño de acuerdo a la velocidad máxima especificada por el diseñador.
- ✓ Tamaño por LP: Esta opción utiliza una técnica de optimización de programación lineal para calcular los tamaños de tuberías por lo que los aspersores o goteros están todos dentro de la ventana de presión especificada por el diseñador: elevación, las presiones de la válvula, la presión de suministro de agua, la velocidad, el costo tubería y el costo de energía son algunos de los factores que se toman en cuenta.

Analizar: Esta opción se utiliza si el diseñador ha especificado los tamaños de tubería y quiere analizar el sistema hidráulico. También es muy útil cuando el diseñador ha hecho algunos cambios en los tamaños de la tubería generada automáticamente por IRRICAD. La solución teórica óptima puede requerir algunos cambios manuales por razones prácticas. Estas pueden ser fácilmente realizadas y la opción Analizar se utiliza para determinar el efecto de dichos cambios.

Configuración del Diseño de Zona: El número y tamaños de laterales, el número de sub-principal o tubería de la zona, las presiones y tamaños de válvula necesarios para cada zona pueden ser controlados en esta sección.

Accesorios de Selección: Esta característica es muy potente y no tiene comparación con ningún otro programa. No sólo calcula todas las longitudes de

tubo, el número de aspersores y válvulas, sino que también determina los accesorios necesarios en cada cruce y los precios de todo el sistema.

Reportes: IRRICAD ofrece una gran capacidad de comunicación de datos hidráulicos o costo de un diseño. Una serie de informes hidráulicos muestran las variaciones de presión en las zonas; la presión en cada riego o de la unión, las pérdidas de presión y velocidades en las tuberías individuales, y una gran cantidad de otra información.

2.9.3. Ventajas del IRRICAD Pro 11

- ✓ Ahorro de tiempo, mejorando la productividad.
- ✓ Hace más fácil el diseño y la lista de materiales.
- ✓ Logra una mejor precisión y limita los errores de diseño y presupuesto.
- ✓ Ofrece una respuesta más rápida a los clientes.
- ✓ Diseña sistemas que de otro modo serían más difícil analizar.
- ✓ Mejora la competitividad.

2.10. Aqua Flow 3.2

El software de riego AquaFlow 3.2 es un programa creado por Toro que ofrece a los diseñadores una herramienta de estado cambiante para configurar los sistemas de riego por goteo para un rendimiento óptimo utilizando de Toro Aqua-Traxx® y Aqua-Traxx® cinta de goteo PC, BlueLine® Classic y BlueLine® línea de goteo PC, así como una nueva línea de goteo con paredes delgadas. Además, permite a los usuarios diseñar con un número ilimitado de pendientes y telescopiar la distribuidora (manifold) poder elegir entre unidades métricas y seleccionar el tipo de idioma inglés o español.

Este programa se encuentra en la página de Toro.com, puede ser descargado e instalado para empezar a utilizarlo. Toro ha creado una base de datos de productos de riego por goteo para el software IRRICAD, para poder simplificar aún más el diseño del riego y así poder vincularse con IRRICAD.

Hoy en día, diseñar un sistema de riego por goteo es más fácil y más preciso. AquaFlow 3.2 utiliza la última tecnología en diseño computarizado, técnicas de programación y formatos en pantalla para optimizar el diseño de un sistema de riego por goteo. Los ingenieros de diseño pueden evaluar más opciones rápidamente y eficazmente, mejorando la selección de componentes de un sistema de riego por goteo. Esto resultará en un sistema de riego preciso, eficiente y de mayor rendimiento para el agricultor.

2.10.1. Características de Aqua Flow 3.2

- ✓ Compatible con nueva línea de goteo paredes delgadas del Toro.
- ✓ Establece un diseño con varias pendientes y un telescopio de la distribuidora.
- ✓ Disponible en lenguaje español.
- ✓ Unidades métricas.
- ✓ Posibilidad de imprimir los reportes.
- ✓ Posibilidad de importar y exportar diseños.
- ✓ Mapas de bloques con códigos de colores generados de forma instantánea que representan la uniformidad del sistema.
- ✓ Fácil comparación de dos selecciones laterales diferentes.
- ✓ Menús desplegables para facilitar la visualización.

- ✓ Elección de múltiples distribuidoras y líneas principales de diferentes tamaños y tipos de tubería.
- ✓ Cálculos de lavado laterales y distribuidoras.
- ✓ Informes personalizables que pueden guardarse en varios formatos.

2.10.2. Plataforma de Aqua Flow 3.2

Este programa cuenta con un formato de pantalla ajustable que permite al usuario hacer comparaciones fáciles y simultáneamente en una pantalla. Otros programas de diseño requieren alternar una pantalla con otra para ver este tipo de información. El formato está dividido en ocho secciones:

- ✓ Menús Desplegables.
- ✓ Barra de Herramientas.
- ✓ Descripción del Diseño de Bloque y Selección de Proyecto.
- ✓ Líneas Laterales: Datos Ingresados y Resultados.
- ✓ Líneas Secundarias (Manifold): Datos Ingresados y Resultados.
- ✓ Lavado: Cálculos basados en a) Presión Inicial y b) Velocidad de Lavado.
- ✓ Diagrama de Uniformidad de riego codificado a color, indicando el diferencial del caudal promedio de un bloque
- ✓ Formato de pantalla, mostrando información sobre la presión, caudal, desnivel y velocidad vs la longitud de líneas laterales y secundarias.

Una característica importante del programa es el área de Gráficas (Chart Tiles), la cual muestra 6 gráficas con parámetros de sistemas de riego por goteo vs longitud de lateral, las cuales son: a) Caudal del gotero; b) Presión de lateral; c)

Desnivel de lateral; d) Velocidad de lateral; e) Presión de Manifold y f) Desnivel de Manifold.

Aqua Flow 3.2 se puede utilizar para crear diseños individuales de bloques, también se puede utilizar para crear diseños de líneas principales que suministren agua a múltiples bloques de riego. En este caso, tiene que crear un cliente y un proyecto para poder asignar múltiples bloques a ese proyecto. Entonces la línea principal podrá suministrar agua al bloque con varios segmentos y ser asociada con el proyecto.

Cualquier archivo de diseño o proyecto se puede imprimir, exportar o enviar por correo electrónico en cualquiera de los siguientes formatos: pdf, html, mht, rtf, xls, xlsx, csv, text, ó como archivo de imagen. Para esto puede seleccionar para imprimir el reporte del diseño de laterales, el reporte del diseño de comparación de laterales o ambos. También puede elegir imprimir archivos de diseño de bloques y de la línea principal que esté asociada con el proyecto seleccionado. El reporte puede ser personalizado con color y filigranas.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Desarrollo del Modelo de Simulación del Método del Elemento Finito (MEF)

El método empleado para el desarrollo del modelo de simulación de un bloque de riego, es el método del elemento finito, donde se aplicó a una rutina que se arranca con datos tomados en campo, para lo cual se utilizan principios hidráulicos, teoremas y ecuaciones.

- ✓ Fórmula de Hazen-Williams.
- ✓ Fórmula de Darcy Weisbach.
- ✓ Ecuación del Emisor.
- ✓ Ecuación del Medidor.
- ✓ Teorema de Bernoulli.

3.1.1. Datos Empleados para el Modelo del MEF

Para la simulación de las líneas regantes por el método del elemento finito, fueron necesarios los siguientes datos de entrada:

- ✓ Diámetro real interno de la manguera, ID \emptyset en mm.
- ✓ Espaciado de los emisores, S_e (m).
- ✓ Número de emisores por planta.
- ✓ Factor C de Hazen para la manguera.
- ✓ Coeficiente de fricción $K\emptyset$, para Hazen-Williams.
- ✓ Exponente de carga para el emisor, x.
- ✓ Coeficiente de gasto unitario para el emisor, K.

- ✓ Variación de manufactura, v (%).
- ✓ Filtración requerida del agua, mesh.
- ✓ Longitud de la manguera, L (m) .
- ✓ Gasto de entrada a la regante, q (LPH).
- ✓ Carga de entrada a la regante, h (m).
- ✓ Carga al final de la regante, h_i (m).
- ✓ Topografía.

Para la simulación de la línea distribuidora por el método del elemento finito, los datos de entrada necesarios fueron los siguientes:

- ✓ Diámetro real interno de la tubería, ID \emptyset (mm).
- ✓ Espaciado de las líneas regantes, SI (m).
- ✓ Factor C de Hazen para la tubería.
- ✓ Coeficiente de fricción $K\emptyset$, para Hazen-Williams.
- ✓ Exponente de carga para el medidor, x .
- ✓ Coeficiente de gasto unitario para el medidor, K.
- ✓ Filtración requerida del agua, (mesh).
- ✓ Longitud de la tubería distribuidora, L (m).
- ✓ Carga de entrada de la regante, en (m).
- ✓ Carga al final de la regante, en (m).
- ✓ Variación de carga permitida, ΔH_s (m).

3.1.2. Aplicación del Modelo del MEF

Para poder alimentar el modelo se tomaron unos datos en campo de operación y construcción los cuales sirvieron como base para arrancar la simulación de la línea regante, después la distribuidora, para así simular las 20 líneas regantes que conformarían el bloque de riego.

3.1.3. Prueba de campo

Con el fin de tener datos para la simulación, se instalaron laterales de prueba, para los diferentes tipos de bloques de riego, los cuales fueron manguera de goteo integrado (81 metros), cinta de goteo (74 metros) y microaspersión (100 metros de manguera y 10 microaspersores).

Para simular el comportamiento hidráulico de una línea regante al operar a diferentes presiones de entrada tal como ocurriría en un bloque real en campo, lo muestra la Figura 3.1 se conectó una línea regante, a una válvula, y enseguida se conectó un hidrómetro y un manómetro para medir el gasto de entrada.



Figura 3.1. Hidrómetro y manómetro a la entrada a la línea regante.

Para evaluar la prueba, se aplicaron los siguientes pasos:

1. Se tendió una línea regante a lo largo de un terreno como lo muestra la Figura 3.2.



Figura 3.2. Extendiendo el rollo de manguera regante de prueba.

2. Se conectó la manguera al manómetro, hidrómetro y la válvula al equipo de bombeo se muestra en la Figura 3.3.



Figura 3.3. Haciendo las conexiones de los instrumentos utilizados.

3. Una vez instalado todo, se encendió el equipo para empezar a evaluar.
4. Como las líneas regantes utilizadas en los diferentes diseños ya eran usadas, se inyectó ácido para asegurarnos que los emisores no estuvieran tapados.
5. Se calibró el manómetro a diferentes presiones y se tomó la lectura de gasto a la entrada de la regante a las presiones propuestas, para esto se utilizó un cronómetro para tomar el tiempo en que pasa una cantidad de flujo por el hidrómetro, luego una vez tomados los datos del hidrómetro y el tiempo en que pasó el flujo, se procedió a hacer el cálculo del gasto en litros por minuto.
6. Por último se calibró el manómetro a tres cargas de referencia a la entrada para poder así aforar y calcular el gasto de los emisores muestreados a cada 10 metros sobre la regante en funcionamiento se puede apreciar en la Figura 3.4.



a



b

Figura 3.4. a). Aforando un microaspersor y b). Midiendo el caudal aforado.

7. Después procesamos los datos de campo en el programa Excel, para sacar logaritmos a las cargas y gastos que arrojaron la prueba de campo, de esta manera obtuvimos las ecuaciones de calibración del emisor y del medidor.

El Cuadro 3.1. muestra la plantilla para el ajuste de los datos y cálculo de la ecuación del emisor, ésta fue utilizada para predecir el gradiente hidráulico de la regante en las tres pruebas con diferente emisor.

Cuadro 3.1. Diseño de la plantilla de Excel para la ecuación del emisor.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	CURVA DE Q Vs H PARA LA LINEA REGANTE										
2	DATOS TOMADOS DE CAMPO						TOTAL DE EMISORES				
3	# PRUEBA	CARGA (PIES)	DATOS DE AFORO				GASTO TOTAL EMISORES (LPM)	GASTO TOTAL EMISORES (LPS)	GASTO Q TOTAL EMISORES (LPH)	GASTO q EMISOR (LPH)	CARGA (METROS)
4			HIDROMETRO (LITROS)		CRONOMETRO (HORAS)						
5			L1	L2	L1	L2					
6	OPEN										
7	2°										
8	3°										
9	...										
n	n										

Calculamos el Ln de gastos por emisor y Ln de las cargas, es decir en las columnas J6:Jn y K6:Kn se calculó el logaritmo natural y con esa matriz determinamos la pendiente (β), intersección (α), coeficiente K y correlación (r), para obtener la ecuación de calibración del emisor, siendo ésta de la forma siguiente.

$$q = K (h)^x$$

Donde:

q= gasto del emisor (lph).

K= es el coeficiente obtenido de la matriz (adimensional).

h= es la carga a la cual será operado el emisor (mca).

x= es la pendiente del emisor que nos proporcione (adimensional).

Así mismo para la calibración del medidor para la línea regante, se obtuvo el Ln de los gastos de toda la línea regante y las cargas, de la misma manera que con el emisor se calculó con una matriz, es decir en las columnas l6:ln y K6:Kn se les determinó el logaritmo natural y así sacamos la pendiente (β), intersección (α), coeficiente K y la regresión (r) y del mismo modo se procesa la información para la ecuación.

$$Q = K (H)^x$$

Donde:

Q= gasto de la línea regante (lph).

K= es el coeficiente obtenido de la matriz (adimensional).

H= es la carga de entrada a la cual será operada la manguera (mca).

x= es la pendiente que nos resulte de la matriz (adimensional).

3.1.4. Perfil Topográfico

Para obtener las cotas sobre el terreno donde estuvieron situadas las líneas regantes, se utilizó el método de las diferencias, para lo cual, utilizamos una cinta de medición, 2 balizas, un cordel y un nivel de arquitecto.

1. Como primer paso determinamos cual es nuestro banco de nivel y le asignamos un número a la cota en este caso 100.
2. Tomamos alturas a cada 10 metros para realizar una nivelación diferencial

sobre el perfil topográfico de la ruta de la regante, se tomó como referencia la altura de la baliza colocada en el banco de nivel y se le amarró un cordel en dicha altura, en el segundo punto se estiró el cordel el cual llevaba puesto el nivel de arquitecto, se utilizó la cinta para tomar la medición de la siguiente altura del piso a donde se encuentra el cordel una vez que se está nivelado (Figura 3.5.).



Figura 3.5. Medición de las cotas topográficas sobre el tendido de la manguera.

3. Para obtener la cota siguiente, a la cota tomada como banco de nivel se le sumó la altura registrada como referencia y se le restó la altura de la siguiente baliza. Así por ejemplo, en la entrada de la manguera, se tiene que la baliza registró 0.48 m de altura y la que está en el banco de nivel tiene marcada como referencia en la baliza 0.50 m entonces:

$$Cota\ 1 = 100\ m + (0.5\ m - 0.48\ m) = 100.02\ m$$

4. Se realizó la misma metodología para acabar el perfil topográfico, dando como resultado los datos del Cuadro 3.2.

Cuadro 3.2. Cotas topográficas de la línea regante.

COTAS TOPOGRÁFICAS	
METROS	COTA
BN	100.000
0	100.020
10	99.970
20	99.510
30	99.700
40	99.690
50	99.880
60	100.380
70	100.600
80	101.320
90	102.100
100	102.660

3.2. Realización de la Simulación del Bloque de Riego

Una vez teniendo los datos de campo se procedió a realizar el modelo de simulación aplicando un algoritmo mediante el método del elemento finito.

3.2.1. Simulación de la Línea Regante

Después de tener los datos de campo a evaluar, se diseñó una plantilla de Excel para así obtener el gradiente hidráulico en una línea regante en esta plantilla

se introducen las ecuaciones, teoremas y principios antes dichos. En el Cuadro 3.3. se presenta la plantilla para hacer el cálculo del gradiente hidráulico de la línea regante. Esta plantilla se aplicó para los tres tipos de riego (Apéndice A).

Cuadro 3.3. Plantilla de Excel para la simulación de la línea regante.

	A	B	C	D	E	F
1	ANÁLISIS DEL GRADIENTE HIDRÁULICO DE UNA LINEA REGANTE					
2	# EMISOR	Q ENTRADA (LPS)	PERDIDAS DE CARGA hf (METROS)	q CALCULADO (LPH)	CARGA (METROS)	COTA TOPOGRÁFICA (METROS)
3	0					
4	1					
5	2					
6	3					
7	4					
...	...					
n	n					

Los pasos que se llevaron a cabo para realizar la simulación del gradiente fueron los siguientes:

1. Se ingresaron los datos de entrada, especificaciones de la línea regante (diámetro, longitud, espaciado entre emisores, factor de Hazen, exponente (x) y coeficiente (K) del emisor).
2. Se escribió la carga a la entrada, el gasto, y las cotas topográficas calculadas, de acuerdo al número de emisores y longitud de la regante, en las columnas E3, B3 y F3 respectivamente (en la columna F se pusieron las cotas topográficas hasta el último emisor).
3. Se calculó el gasto del emisor (q), aplicando la ecuación del emisor, en la columna D4 y se hizo lo mismo hasta el último emisor.
4. Se obtuvo el gasto que lleva la línea regante al pasar por los emisores (Q entrada), en la comuna B4, se le restó al gasto de la regante B3, el gasto

del emisor dividido entre 3600 y al igual se hizo para todos los emisores.

$$Q \text{ entrada actual} = Q \text{ entrada anterior} - (q \text{ calculado actual}/3600)$$

5. Se determinaron las pérdidas de carga (H_f) por tramo debido a la fricción aplicando la ecuación de Hazen-Williams.

$$H_f = \frac{1.21 \times 10^{10}}{D^{4.87}} \left(\frac{Q}{C} \right)^{1.852} L$$

Donde:

Q= Es el gasto a la entrada de la regante (LPS).

L= La longitud entre cada emisor (m).

En la columna C4:Cn se capturó la fórmula, el Q ocupado fue el de la columna B3:Bn-1, los demás datos ocupados fueron de las características de la línea regante.

6. Se calculó la carga (H) en metros en cada emisor, aplicando el teorema de Bernoulli.

$$H \text{ actual} = H \text{ anterior} + Cota \text{ anterior} - H_f - Cota \text{ actual}$$

Empezando en la columna E4=E3+F3-C4-F4 y corriéndola hasta la del último emisor.

7. Una vez terminado el proceso anterior, se compararon los gastos del emisor aforados en campo contra los gastos que fueron calculados mediante la simulación, para obtener la pendiente (β), intersección (α) y la regresión (r). Estos valores deberían aproximarse a 1, 0 y 1 respectivamente para poder decir que el modelo fue de predicción perfecta.
8. Como último paso se graficaron los gastos calculados contra los aforados para poder observar que tanto se desvían unos datos de los otros de acuerdo a la correlación.

3.2.2. Simulación de la Línea Distribuidora

Para obtener el análisis hidráulico de lo que sería la línea distribuidora (manifold) en campo, se proponen el número de líneas regantes que va a alimentar dicha distribuidora, el método aplicado se le conoce como el método del paso hacia atrás, donde al estar proponiendo cargas al final de la última lateral se puede predecir la carga a la entrada del bloque de riego y a su vez también el gasto de entrada en dicho bloque (Apéndice b). En el cuadro 3.4. se muestra la plantilla para la simulación en campo de lo que será la línea distribuidora, para cada uno de los diseños de riego.

Cuadro 3.4. Plantilla de Excel para el análisis de la línea distribuidora.

	A	B	C	D	E
1	BLOQUE DE RIEGO PARA UNA LINEA DISTRIBUIDORA				
2	NO DE LATERAL	Qi GASTO DE LA TUBERIA DISTRIBUIDORA (LPH)	Q GASTO DE LA REGANTE (LPH)	PERDIDA DE CARGA EN LA TUBERÍA DISTRIBUIDORA <i>hfi</i> (METROS)	CARGA DE ENTRADA A LA REGANTE <i>Hi</i> (METROS)
3	1				
4	2				
5	3				
6	4				
7	5				
8	6				
9	7				
10	8				
11	9				
12	10				
13	11				
14	12				
15	13				
16	14				
17	15				
18	16				
19	17				

20	18				
21	19				
22	20	0		0	<i>Hn</i>

Los siguientes pasos fueron aplicados para el análisis de la distribuidora.

1. Se introdujo la carga a la última línea regante (H_n), en la columna E22, se obtuvo de acuerdo a la fórmula de variación de carga permisible.

$$\Delta H = \frac{H_a}{10x}$$

Donde:

H_a = es la carga a la que se aforó la regante de la cual fue hecha la simulación.

x = es un valor propuesto para los emisores que tiende a 0.50, según las normas de diseño.

2. Se escribió un 0 en la pérdida de carga al final (h_{fi}) y en el gasto de la tubería distribuidora (Q_i), en las columnas D22 y B22 respectivamente.
3. En la columna C22 que es el gasto de la regante (Q), fue calculada mediante la ecuación del medidor antes calculada, utilizando la carga (H_n) propuesta.
4. El cálculo del gasto de la tubería se hizo sumando el gasto calculado de la última regante, más el gasto que llevaba la tubería a la última regante en este caso 0, esto es en la columna B21= B22+C22.
5. La pérdida de carga (h_{fi}) fue calculada con la ecuación de Hazen-Williams por tramo:

$$H_f = \frac{1.21 \times 10^{10}}{D^{4.87}} \left(\frac{Q}{C} \right)^{1.852} L$$

Donde:

L = es la separación entre las regantes, que son de 10 metros para todos los tipos de bloques de riego.

Q = es el gasto que lleva la distribuidora dividido por 3600.

En la columna D21:D3 se capturó la fórmula, el Q ocupado fue el de la columna B21:B3, los demás datos se tomaron de las características de la distribuidora.

6. Por último se determinó la carga a la entrada de la anterior regante, sumando a la carga de la última regante H_n la pérdida de carga que existe en ese tramo.

Empezando en la columna $E_{21}=D_{21}+E_{22}$ y corriéndola así hasta la primer regante, para el cálculo de la pérdida de carga que tendría la válvula se puso a un metro de separación.

3.2.3. Análisis del Funcionamiento del Bloque de Riego

Para poder obtener la simulación de todo el bloque de riego, se elaboró la simulación de las 20 líneas regantes empleando para esto las cargas H_i a la entrada de cada regante que se obtuvieron mediante la simulación de la línea distribuidora, en la misma plantilla en la que se realizó el gradiente de una sola línea regante.

De estos nuevos datos, fueron ingresados los gastos de todos los emisores por cada regante en una plantilla de Excel (Figura 3.5.) para conformar una matriz con las 20 laterales, que permitió hacer el cálculo de las uniformidades (distribución, coeficiente de uniformidad y emisión).

Cuadro 3.5. Plantilla de Excel para el cálculo de las uniformidades.

	REG 1	REG 2	REG 3	REG 4	REG 5	REG 6	...	REG 20
EMISOR 1 (LPH)								
EMISOR 2 (LPH)								
EMISOR 3 (LPH)								
EMISOR 4 (LPH)								
...								
EMISOR n (LPH)								

Una vez que se llenó la plantilla con los datos de los gastos, se hizo el cálculo de la Uniformidad de Distribución (Du%), Coeficiente de Uniformidad (Cu%) y Uniformidad de Emisión (Eu%).

3.2.4. Cálculo de la Uniformidad de Distribución (Du%)

La Du se determinó utilizando la siguiente fórmula:

$$Du \% = 100 \left(\frac{q_{min}}{q_{prom}} \right)$$

Para obtener esto dentro de Excel fue mediante la matriz de los datos, se obtuvo la cuarta parte de las descargas más baja de los datos aforados (estadísticamente similar al percentil 12.5 por ciento) y el promedio.

3.2.5. Cálculo de Coeficiente de Uniformidad (Cu%)

El Cu es y está expresado mediante la siguiente fórmula:

$$Cu \% = 100 * \left[1 - \left(\frac{Desv Est}{qprom} \right) \right]$$

Con el programa Excel se determinó mediante la misma matriz de datos que para los demás, la desviación estándar y el promedio, así se consiguió el resultado.

3.2.6. Cálculo de la Uniformidad de Emisión (Eu%)

La uniformidad de emisión considerada en campo esta expresada en porcentaje, de la relación que existe de la descarga del emisor en la cuarta parte más baja de los datos observados, con respecto a la descarga promedio de todos los datos dentro del bloque de riego, esta expresada por la siguiente ecuación:

$$Eu = 100 \frac{qn}{qa}$$

Para estos diseños la fórmula utilizada para el cálculo de la Eu% fue utilizando el coeficiente de variación de los emisores que nos proporcionó el fabricante y el número de emisores utilizados por planta, para esto se tiene que:

$$Eu = 100 * \left[1 - \left(\frac{1.27 * C.v}{\sqrt{\#e}} \right) \right] \left[\frac{qmin}{qprom} \right]$$

Este cálculo se determinó mediante Excel donde se proporcionaron los datos del C.v. y el número de emisores, y mediante una matriz se obtiene la cuarta parte de la descarga de los datos aforados (percentil 12.5%) y el promedio.

3.3. Metodología para Diseño de un Bloque de Riego con IRRICAD Pro 11

Para poder utilizar el programa IRRICAD Pro 11- Software de riego, se ocupó el centro de cómputo del Departamento de Riego y Drenaje, en el cual está instalado la interfaz para poder trabajar ya que es necesario acceso a la Internet. La metodología utilizada para el diseño fue la siguiente:

1. Se abrió IRRICAD Pro 11, dando doble clic sobre el ícono , situado en el escritorio; o se seleccionó *Inicio/Todos los programas/Irricad Pro/Irricad Pro 11*. Una vez que abrió el programa, de la barra de menú se dio clic en *File/New* para limpiar la pantalla.
2. Para configurar el espacio de trabajo se dio clic en *Settings/ Irrigation - Design Specific*; se abrió la base de datos de irricad *Component Database/.../Irricad/Abrir*. Se configuró el grosor de la línea para las laterales, tubería principal y la tubería de la zona, como lo marca la Figura 3.6.



Figura 3.6. Imagen de las pestañas de configuración del espacio de trabajo de IRRICAD.

Dentro de la misma ventana se pulsó la pestaña *Snap/Running Snaps* con esto se corrieron los datos ingresados en las pestañas.

De la misma forma fue hecho el cambio de las unidades en la pestaña *Units/Metrics*.

En la pestaña *Miscellaneous (Misc)* se puso el nombre del cliente y del diseñador y se pulsó *Aceptar*.

3. Para empezar a trabajar en IRRICAD se dibujó un rectángulo desde el Menú *Draw/Rectangle/2 points* o de la barra de herramientas *Drawing*. Después se ingresaron las coordenadas 0,0; Enter y 200,81 Enter.
4. Una vez que se dibujó el rectángulo en la pantalla, se dio clic sobre el ícono zoom all que está situado en la barra de herramientas similar a la de AUTOCAD con el fin de ver todo sobre la pantalla.
5. Después se dibujaron los contornos los cuales fueron la topografía del terreno se dio clic en *Draw/Contour* y se dibujó poniendo el valor de la cota. Después se dio clic en la barra de Menú *Tools/Calculate Contours...* clic si a todo y fueron puestos los intervalos de separación al que estuvieron las cotas. Aparecieron las cotas como muestra la Figura 3.7.

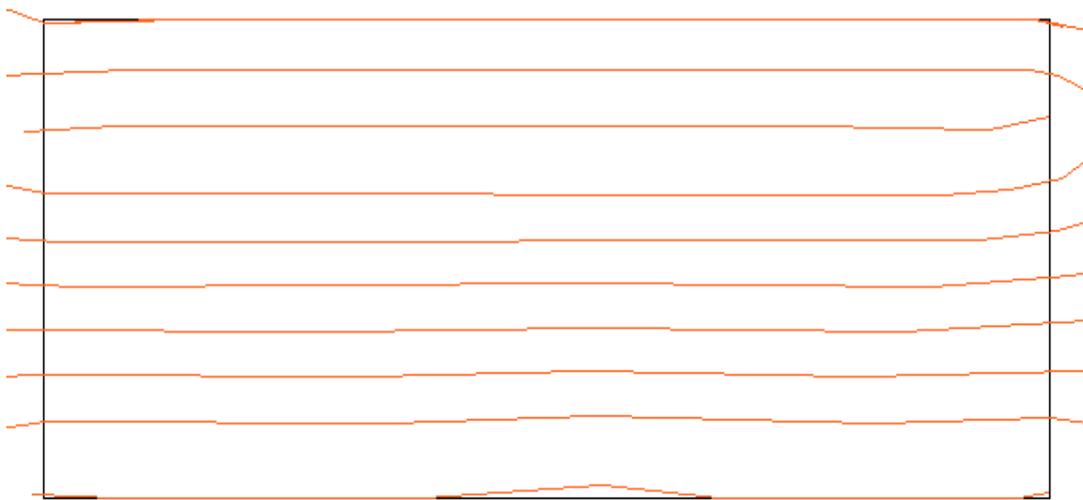


Figura 3.7. Dibujo de las curvas de nivel en el terreno de IRRICAD.

6. Se dibujó el bloque de riego; con la herramienta “Seleccionar Objeto” se dio clic a un lado del rectángulo y cambió a un color verde. 

De la barra de Menú clic en *Zone/Tape Irrigation Block*. Otra vía por la cual se pudo haber elegido esto es desde la barra de iconos esta se muestra en la Figura 3.8.



Figura 3.8. Barra de ícono de la zona en IRRICAD.

Se dio clic *Sí* sobre la pantalla que apareció de esa manera confirmamos la creación de un bloque de goteo sobre el área seleccionada.

Se cambiaron los parámetros de la cinta y lateral; la presión y el espaciamiento fueron propuestos de acuerdo al criterio deseado. Una vez completo esto se pulsó un clic en *Block* (Figura 3.9.).



Figura 3.9. Imagen de la plantilla de las propiedades de las laterales de un bloque de IRRICAD.

Fueron definidas las propiedades del bloque de riego, el espacio entre los caminos, las propiedades de la distribuidora y de la válvula. Así como lo muestra la figura 3.10. Una vez listo, se pulsó *OK*, es mostrada en la Figura 3.10.

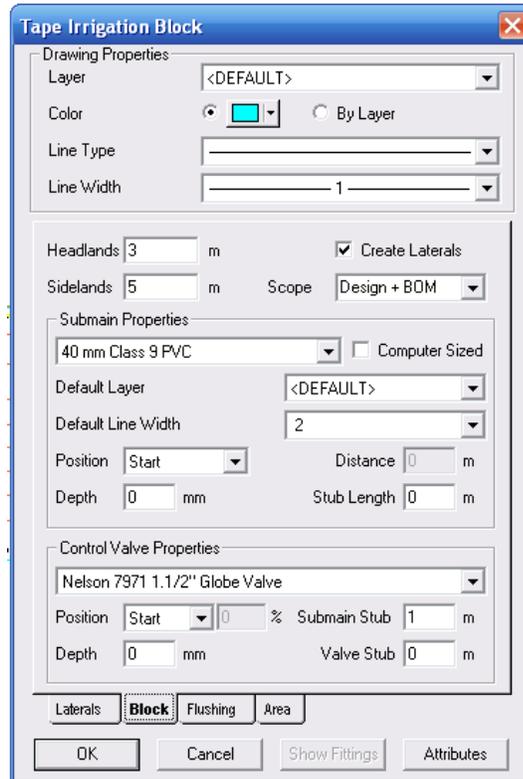


Figura 3.10. Imagen de la plantilla de las propiedades de la distribuidora de un bloque de IRRICAD.

Para determinar la dirección de las líneas regantes se dio un clic sobre el lado de la frontera izquierda, las líneas regantes y aparecieron paralelas al lado seleccionado (Figura 3.11.).

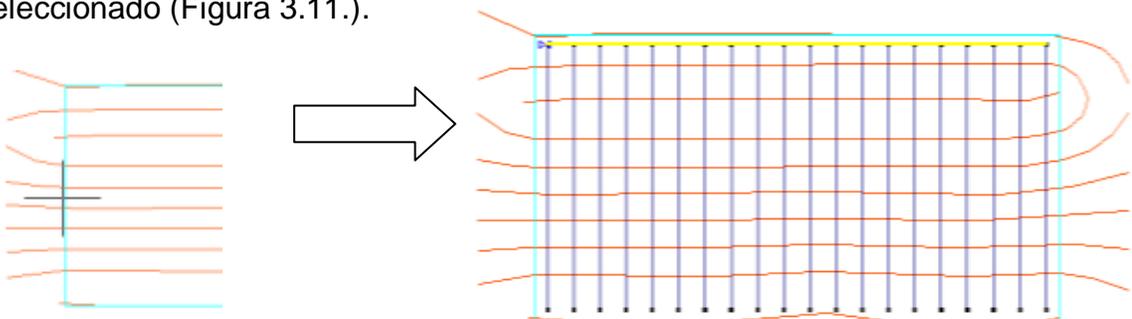


Figura 3.11. Diseño del bloque de riego con las líneas regantes establecidas en IRRICAD.

7. En este paso, se dibujó la tubería principal hacia la fuente de agua y fue puesta la bomba. Desde la barra de iconos:

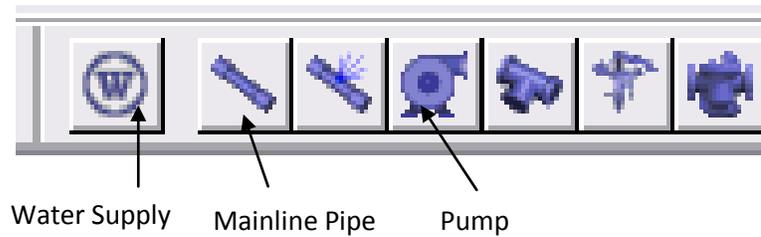


Figura 3.12. Barra de íconos de la tubería principal de IRRICAD.

Quedó como la Figura 3.13.:

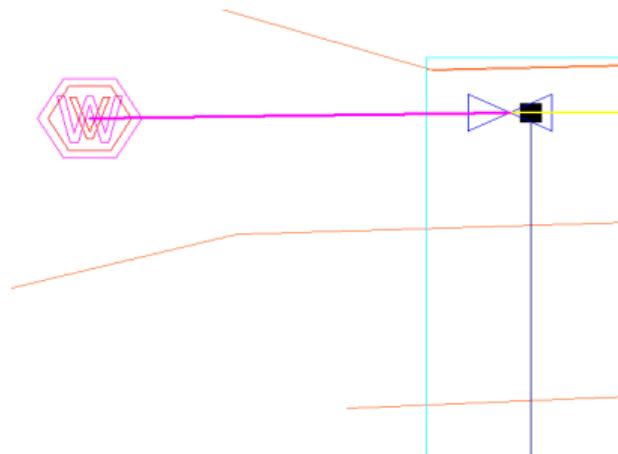


Figura 3.13. Dibujo de la línea principal, fuente de agua y la bomba en el bloque de riego de IRRICAD.

8. De la barra de Menú se dio clic en *Tools/ Connect Valves; Tools/Connect Outlets*, para hacer las conexiones de las válvulas y de los emisores.
9. Para el diseño del bloque, se dio clic en el Menú *Design*, y así se corrieron las funciones de diseño.

Se dio un clic *Design/Design Parameters*, fueron escritos los parámetros para la velocidad de la zona y la velocidad de la tubería distribuidora. Se dio Clic en *Aceptar*.

Se dio un clic *Design/Check Outlet Connectivity*, así se verificó que todos

los componentes estuvieran conectados.

Se dio un clic en *Design/Assign All Zones to One System Flow*, apareció la Figura 3.14., se dio un clic en *OK*. Este paso indicó que todo el bloque de riego se iba a regar en un solo turno.

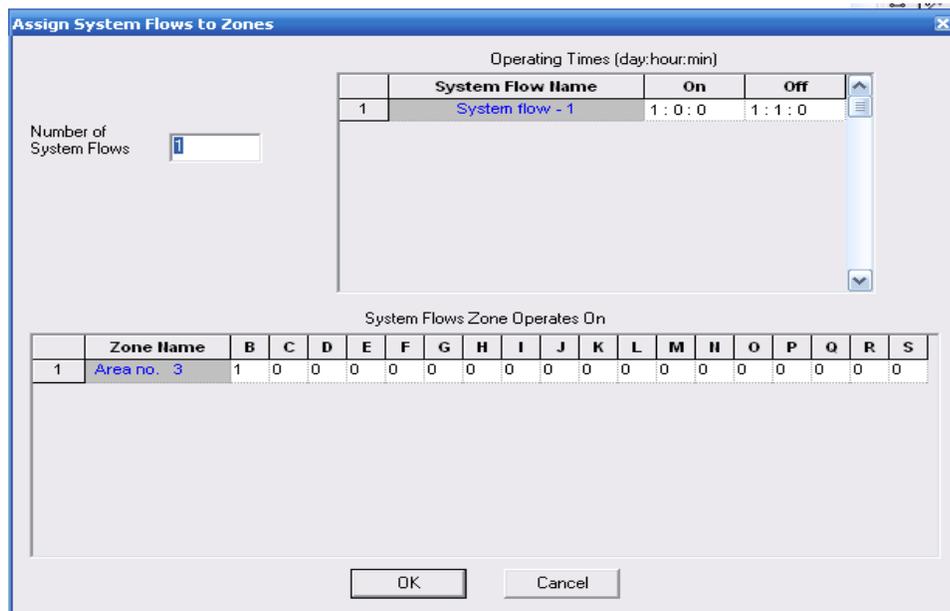


Figura 3.14. Imagen del diseño del flujo de la zona de riego de IRRICAD.

Se dio un clic a *Design/Interpolate Elevations*, se dio clic *OK* a todas los cuadros de diálogos que aparecieron.

Se pulsó un clic en *Design/Zone Design Configuration*, en esta ventana se cambió el número de tamaños para la distribuidora, se puso un 1 (esto quiere decir que va a existir un solo diámetro en la distribuidora) y se dio clic en *OK*.

Se dio un Clic *Design/Zone Design/Analyze; Design/Zone Design/LP Design; Design/Zone Design/Velocity Design*, se pulsó clic a todo en *OK*. En este paso fue diseñada la tubería de la zona.

Se dio un clic en *Design/Valve Analyze*, con esta función fue diseñada la válvula.

Se dio clic a *Design/Mainline Design/Analyze; Design/Mainline Design/LP*

Design; Design/Mainline Design/Velocity Design, después de pulsó clic a todo en OK. En este paso se diseñó la tubería distribuidora.

10. Para poner etiquetas al diseño ya realizado se seleccionó de la barra de Menú *Settings/Labels*, aquí fue modificado en *Text* y se seleccionaron las propiedades deseadas para que aparecieran dentro del diseño y se activaron las casillas de verificación para que se mostraran como la Figura 3.15., en este caso fueron activadas las casillas *Mainline Pipes*, *Control Valves* e *Irrigation Blocks*, se dio un clic en *Aceptar*.

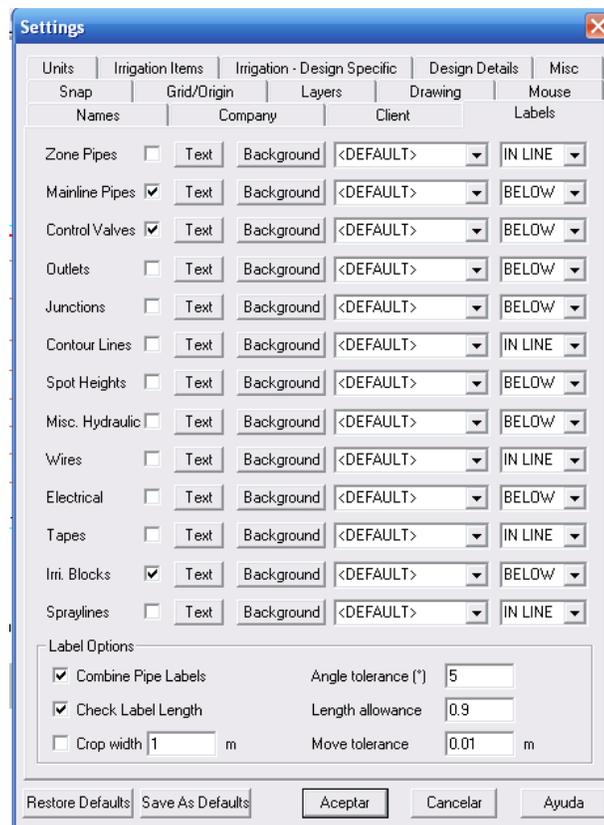


Figura 3.15. Imagen de las pestaña de configuración de las etiquetas del bloque de IRRICAD.

Después para que aparecieran dentro del diseño se pulsó un clic en el Menú *Tools/Create Labels*.

Una vez hecho esto se mostraron las etiquetas en la Válvula, en la Tubería Distribuidora y debajo del diseño las propiedades del Bloque.

11. Por último paso para revisar los reportes de diseño, se dio un clic en el menú *Reports/Hidraulic Gradeline* para mostrar el gradiente hidráulico por línea regante. Y de esta manera se pudo apreciar cómo se distribuye la carga dentro de la línea regante con respecto a la topografía.

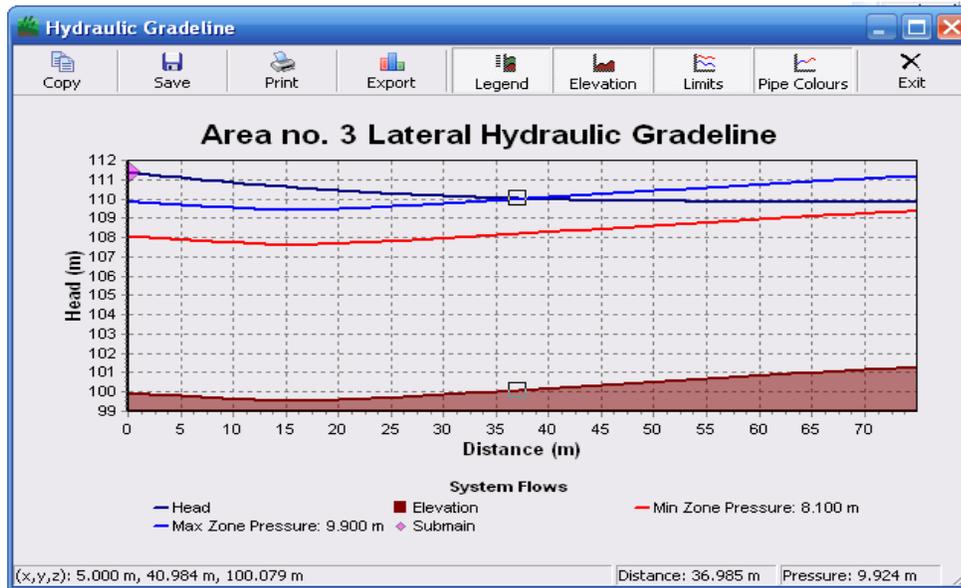


Figura 3.16. Gradiente hidráulico de una línea regante perteneciente al bloque de riego de IRRICAD.

Fue dado un clic en *Reports/Zone Design Reports/Zone Design Sum. (Uniformity - multi emit)*, para poder ver las uniformidades, los caudales y cargas permitidos, en el bloque. Se mostró una ventana, a la cual se le puso el número de emisores por planta Y se dio un clic en *OK*. Surgió un cuadro como la imagen 3.17.

Irricad Version 11.1		Zone Design Report		
Company :	UAAAN	Designer :	PERLA YAZMIN DE LA C	
Client :	VARIOS	Design Date :	06/11/2013	
Site :	SALTILLO, COAHUILA	Report Date:	12/11/2013 06:57:17	
Notes :				
Filename :	GOTEO INTEGRADO 1.des			
Zone Name :	GOTEO INTEGRADO	Valve Description :	Nelson 7971 1.1/2" Globe Valve	
Zone Head (D/S) :	9.68 (m)	Zone Head (U/S) :	10.89 (m)	
Total Zone Flow :	5.16 (m3/h)	Valve Headloss :	1.22 (m)	
	<u>Allowable Flow</u> (lpm)	<u>Actual Flow</u> (lpm)	<u>Allowable Pressure</u> (m)	<u>Actual Pressure</u> (m)
Minimum Outlet	0.05	0.05	6.58	5.47 ***
Maximum Outlet	0.06	0.07 ***	8.05	9.66 ***
Outlet Variation (%)	9.18	23.90 ***	18.18	43.40 ***
Coefficient of variation =	0.000	Mean Emitter Flow =	0.06	No. of Emitters per Plant = 10
Cu =	94.5 (%)	Eu =	91.6 (%)	Du = 91.6 (%)
Outlet Locations (X,Y)	Minimum :	185.0 , 3.0	Maximum :	5.0, 84.0

Figura 3.17. Ejemplo de un Reporte de Uniformidades de un bloque de riego de IRRICAD.

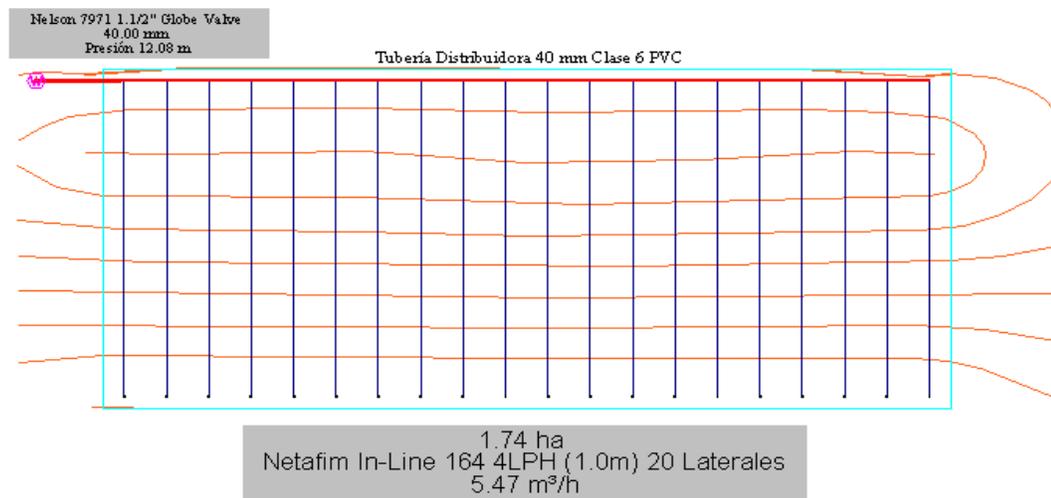
Se dio clic en *Reports/Costing BOM Reports/B.OM*. De esta manera se pudo ver la lista de materiales del diseño.

Irricad Version 11.1		Bill of Materials		12/11/2013
Company :	UAAAN	Designer :	PERLA YAZMIN DE LA C	
Client :	VARIOS	Design Date :	06/11/2013	
Site :	SALTILLO, COAHUILA	Report Date :	12/11/2013 06:57:42	
Notes :				

Length/Number (m)	Description
1621	Netafim In-Line 164 4LPH (1.0m)
212	40 mm Class 6 PVC
1	Nelson 7971 1.1/2" Globe Valve
1	AJAX 1+LS 1450 RPM

Figura 3.18. Ejemplo de un Reporte de Materiales de un bloque de riego de IRRICAD.

12. Por último se logró apreciar el diseño que se mostró al finalizar la rutina de ejecución para un bloque de riego.



BLOQUE DE RIEGO GOTEO INTEGRADO

Figura 3.19. Ejemplo del diseño de un bloque de riego por goteo de IRRICAD.

Esta metodología fue aplicada para los tres tipos de diseño (goteo, cinta de goteo y microaspersión) cambiando los bloques, así como los datos del emisor y la línea distribuidora (Apéndice C).

3.4. Metodología para Diseño de un Bloque de Riego con Aqua Flow 3.2

El Programa Aqua Flow 3.2 de Toro, fue ocupado en el centro de cómputo del Departamento de Riego y Drenaje. Los puntos básicos para realizar un diseño fueron los siguientes:

1. Para empezar a trabajar en el programa Aqua Flow 3.2 de Toro, se descargó e instaló desde la página de Toro (<http://www.toro.com>), una vez concluida la instalación se seleccionó el ícono  para empezar a trabajar, otra vía para el inicio del programa fue mediante *Inicio/Todos los programas/Aqua Flow 3.2*. Una vez en el programa se expuso la interfaz como la Figura 3.20.

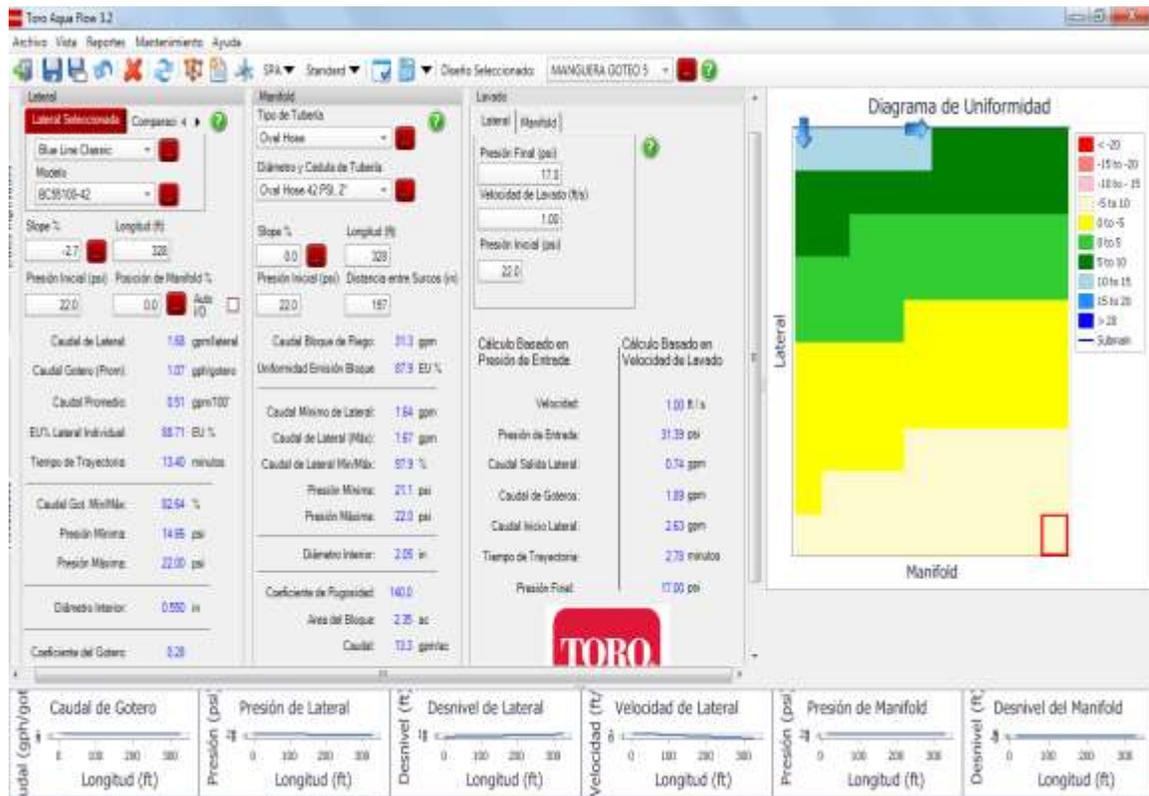


Figura 3.20. Plantilla del programa Aqua Flow 3.2.

2. Se inició la creación de un diseño, dando de alta un cliente dentro del menú *Mantenimiento/Clientes*, se dio clic en *Nuevo* se llenó lo que se pide y se dio clic en *Guardar y Cerrar*.
3. Como la manguera que se quería seleccionar para el diseño no existía en la base de datos se dio de alta de la siguiente manera; se dió clic en el Menú *Archivo/Ingresar Productos Nuevos*. Se mostró una ventana, en la cual fueron llenados los datos que se pedían para el producto, se dio clic en *Guardar y Cerrar*.

Los datos ingresados caracterizaron las especificaciones técnicas de dicho producto. Y se cambiaron las unidades del programa en la pestaña *Standard* para eso se seleccionó *Métricas*.

4. Se eligió el nombre del diseño, ingresando las propiedades de la Lateral, Manifold en la parte media de la pantalla y Área de lavado, este modelo es interactivo apareciendo el rectángulo del bloque de riego en el lado derecho de la pantalla dinámica mostrando la variación de caudales en un diagrama de uniformidad, en la parte inferior se encontraron los gradientes hidráulicos para la manguera regante y para la distribuidora, además en el monitor se apreciaron los parámetros de diseño.

Para la lateral con dos pendientes, se eligió el lado izquierdo de la pantalla para trabajar con las siguientes funciones:

-Se dio Clic en *Pendiente...* Apareció la siguiente ventana, fueron capturados los datos solicitados, se dio clic en *OK*, automáticamente trazó la pendiente y se mostró en por ciento (Figura 3.21.).

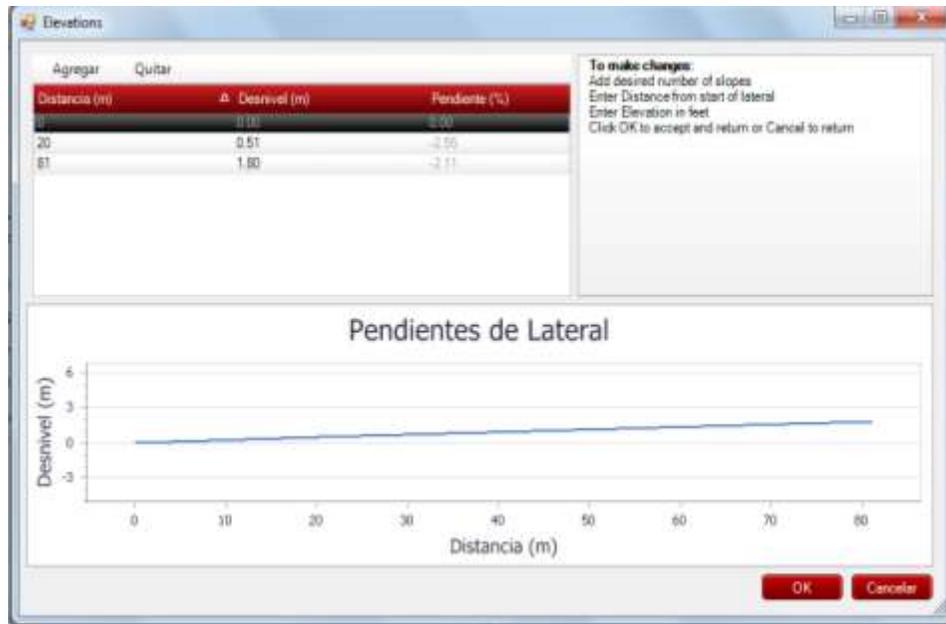


Figura 3.21. Imagen de las elevaciones del perfil del terreno en Aqua Flow 3.2.

- Después de que se capturaron los datos arrojó el diagrama de uniformidad mostrado en la Figura 3.22.

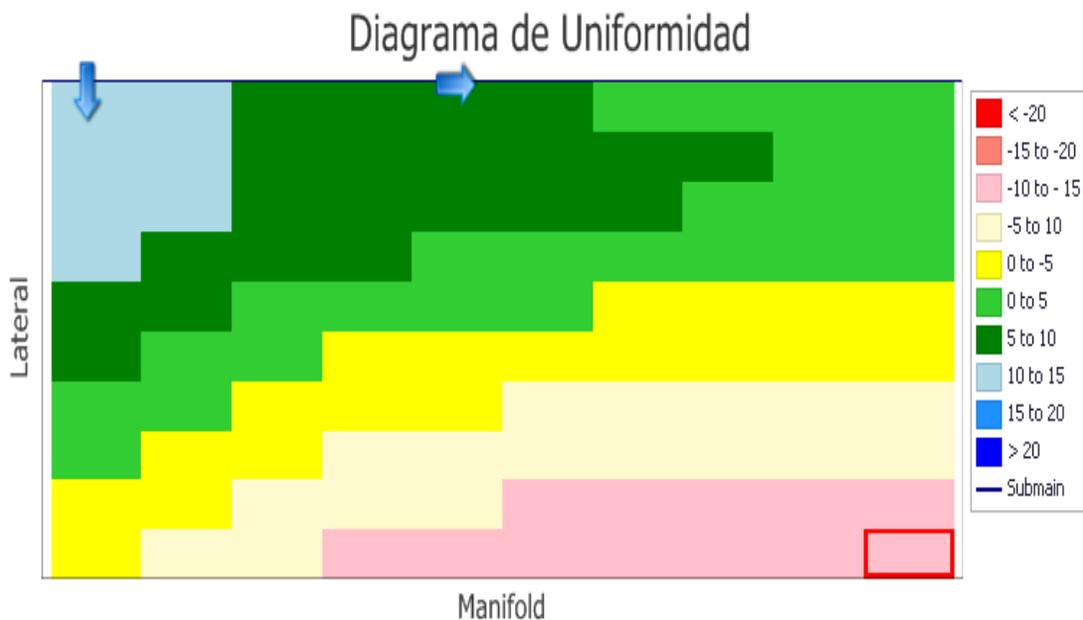


Figura 3.22. Diagrama de Uniformidad de Aqua Flow 3.2.

6. Por último, se dio clic en *Reportes/Diseño; Reportes/Proyecto* aquí se logró apreciar las uniformidades así como los datos que fueron ingresados para el cálculo del diseño. A continuación la Figura 3.23 muestra un ejemplo del reporte del diseño y Proyecto.



Figura 3.23. Ejemplo de un reporte de diseño de Aqua Flow 3.2.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Curvas Características de Tres Tipos de Emisores (gotero integrado, cinta de goteo y microaspersor).

En la Figura 4.1. podemos apreciar la disposición de las curvas que marcan la ecuación de calibración del gotero integrado Netafim 4 LPH, cinta de goteo Aqua-Traxx EA5081234 y microaspersor Naandanjain base naranja boquilla 1.5 mm, las correlaciones son 0.9908, 0.9133 y 0.9960 respectivamente lo que nos demuestra que es una confiabilidad alta ya que cuando es más cercano a la unidad es mejor, a partir de esto se obtuvieron las ecuaciones que son mostradas en la gráfica.

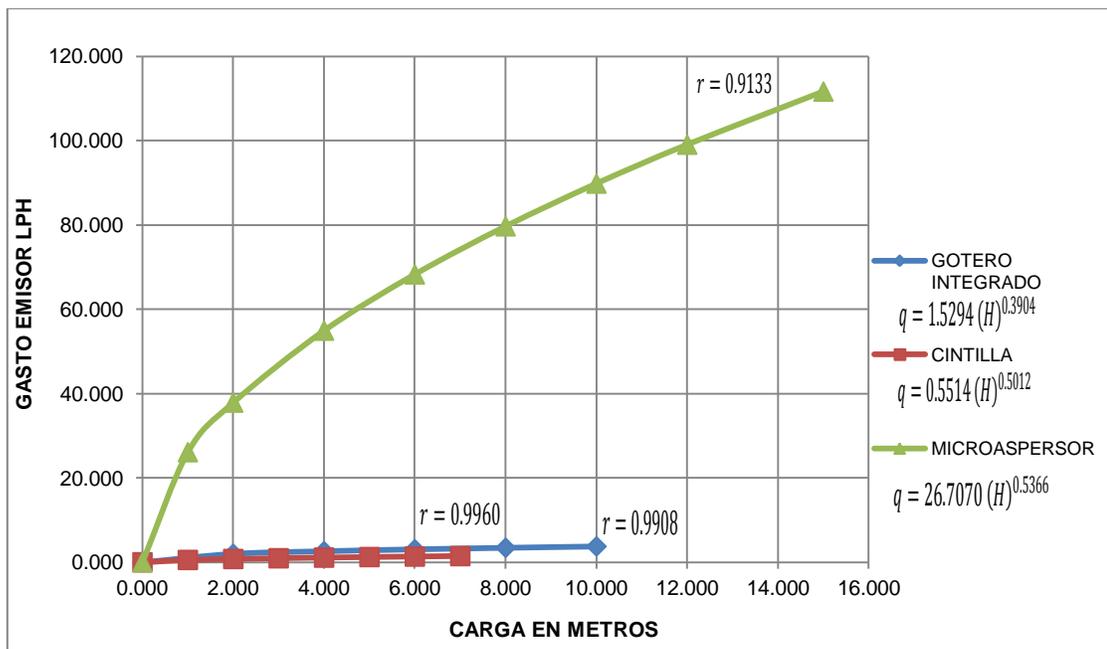


Figura 4.1. Curvas características de tres tipos de emisores.

4.2. Ecuaciones para las Distribuidoras con Diferentes Líneas Regantes (goteo integrado, cinta de goteo y microaspersión), para Diferentes Longitudes.

En la Figura 4.2. observamos la forma de las líneas que pertenecen a las ecuaciones de calibración las líneas distribuidoras para tres tipos de líneas regantes; con manguera de goteo integrado Netafim 16 mm/4 LPH/100 cm de 81 metros, cinta de goteo Aqua-Traxx EA5081234 de 74 metros y 100 metros de manguera de polietileno 19 mm ø con microaspersores Naandanjain base naranja boquilla 1.5 mm, también se presentan las correlaciones que son 0.9761 para goteo integrado, 0.9969 para cinta de goteo y 0.9956 para la línea de microaspersión las cuales nos indican que las ecuaciones que fueron obtenidas y se presentan dentro de la gráfica son de una buena disposición debido a la alta confiabilidad de las correlaciones.

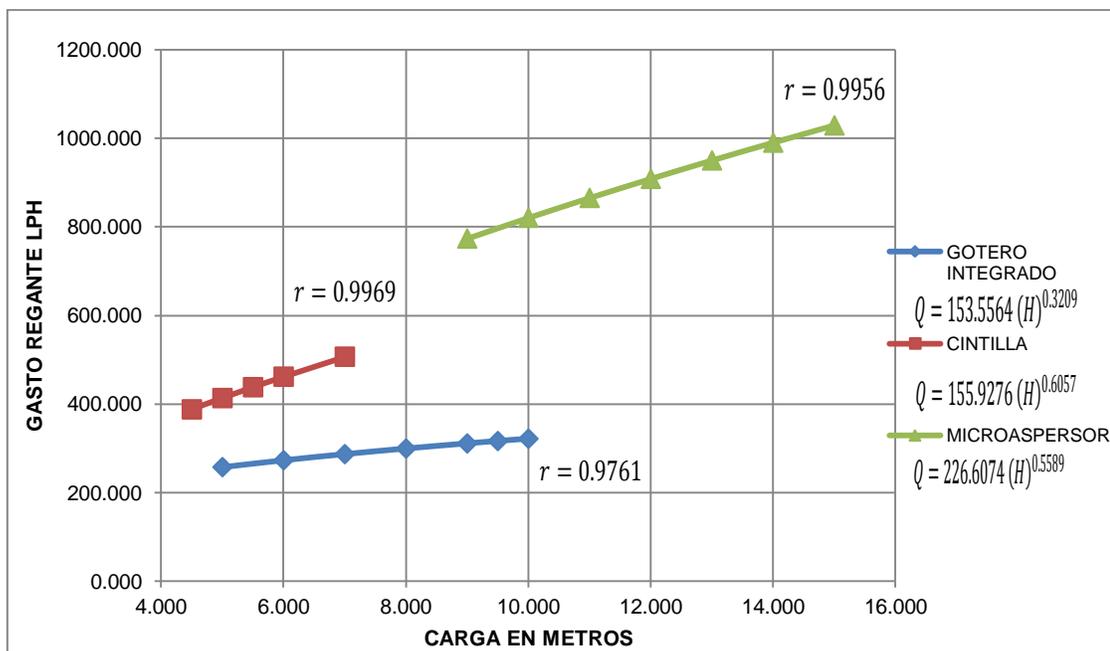


Figura 4.2. Tendencia de las ecuaciones de tres tipos de regante.

4.3. Comparación de Gastos Calculados contra Aforados en una Línea Regante con Diferentes Tipos de Emisores a Diferentes Presiones a la Entrada.

En la Figura 4.3. observamos la tendencia de la línea de goteo integrado Netafim 16 mm/4 LPH/100 cm operado a tres presiones, de la misma manera observamos que el gasto calculado en la línea regante disminuye gradualmente de 4.4 a 3.1 LPH, mientras que en el gasto aforado notamos que existen unas caídas en cuanto al gasto en algunos goteros, por otro lado los últimos aforos cuando la carga en los goteros es menor los gastos aforados son más diferentes que los calculados debido a variaciones como la pendiente y la antigüedad de la manguera, más sin embargo la correlación de los datos es 0.9284 lo cual es buena para decidir que las predicciones del modelo son confiables y se pueden utilizar para simular en funcionamiento de las demás laterales instaladas en un bloque de riego.

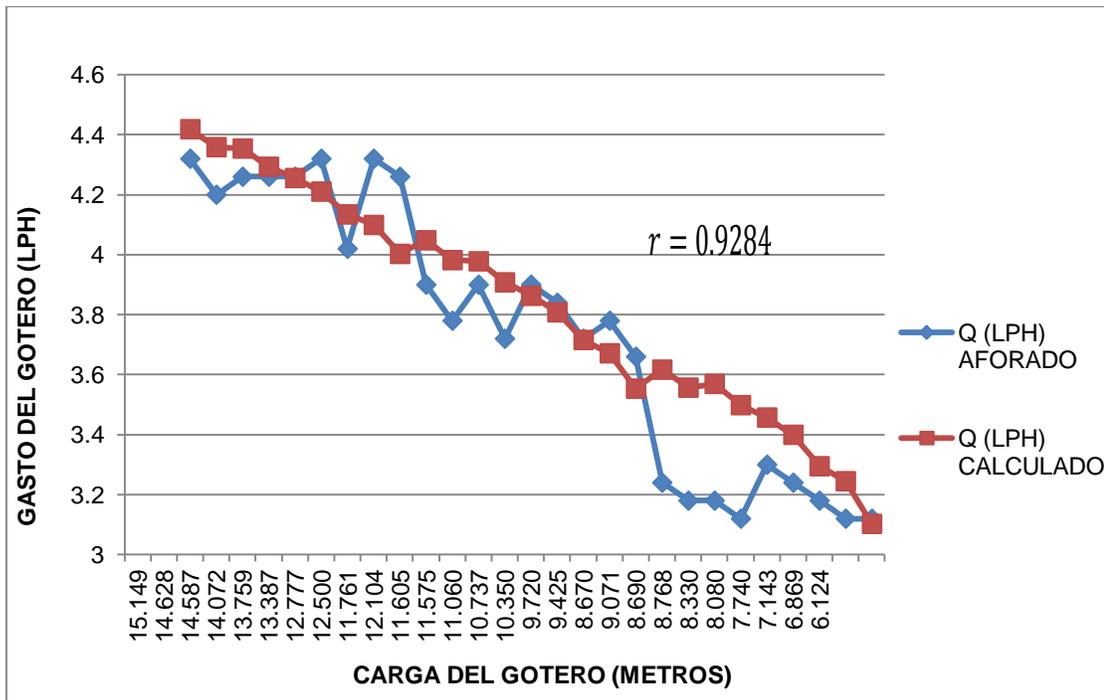


Figura 4.3. Comparación de gastos calculados contra aforados en una línea regante de goteo integrado a presiones de entrada de 50,40 y 30 pies.

En la Figura 4.4. apreciamos la tendencia del gradiente hidráulico para la cinta de goteo Aqua-Traxx EA5081234 aforada en la cual los gastos observados se desvían mucho de los calculados, con una correlación de 0.3857 que es muy baja aunque siguen la misma tendencia la desviación entre las dos líneas se pudo deber a factores como el deterioro de la cinta, las fugas que se percibieron durante la prueba, las uniones de los tramos de cinta y la edad de la cinta (que incrementa la rugosidad y reduce el factor de Hazen), por lo mismo la ecuación para esta cinta no se utilizó en el estudio, además los diseños en IRRICAD y Aqua Flow son para cintas nuevas.

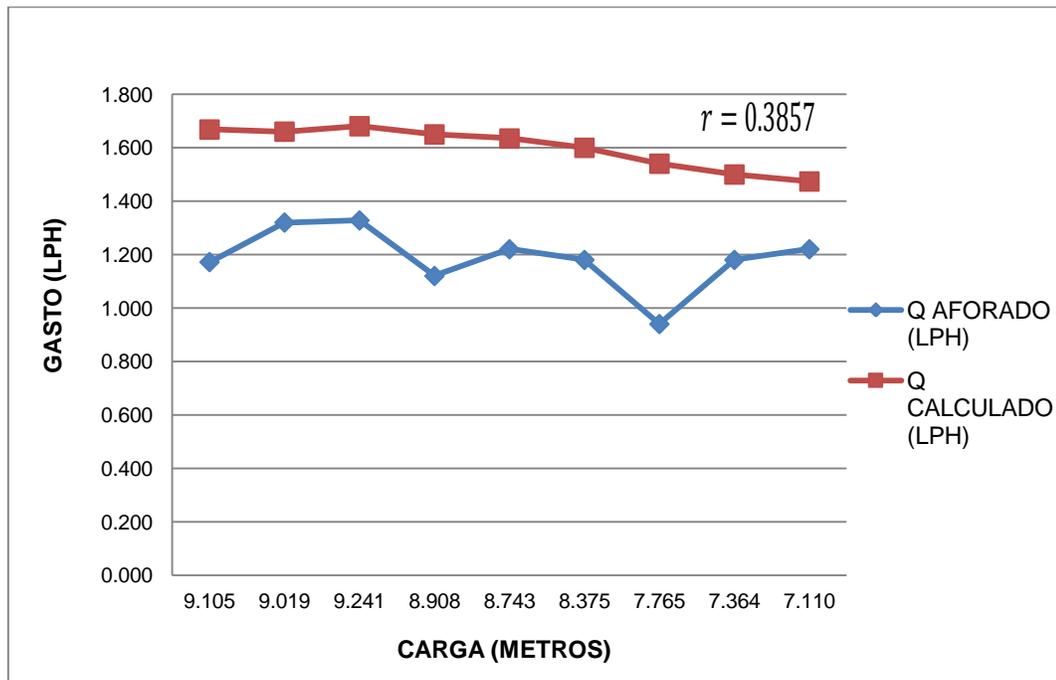


Figura 4.4. Comparación de gastos calculado contra aforados en una línea regante de cinta de goteo Aqua-Traxx EA5081234 a una presión de entrada de 30 pies.

En la Figura 4.5. se compara la línea regante con manguera de polietileno 19 mm ø con microaspersores Naandanjain base naranja boquilla 1.5 mm a tres presiones de prueba, también distinguimos como los gastos aforados tienen una ligera variación respecto de los calculados, aunque en los primeros dos aforos de la primer prueba (72 pies) y en los últimos seis de la tercer prueba (30 pies), están cerca a los calculados, las variaciones registradas pudieron ser a causa de la pendiente y a que los microaspersores utilizados ya eran usados, la correlación que define a estos gastos es de 0.9744 lo cual está especificada como buena.

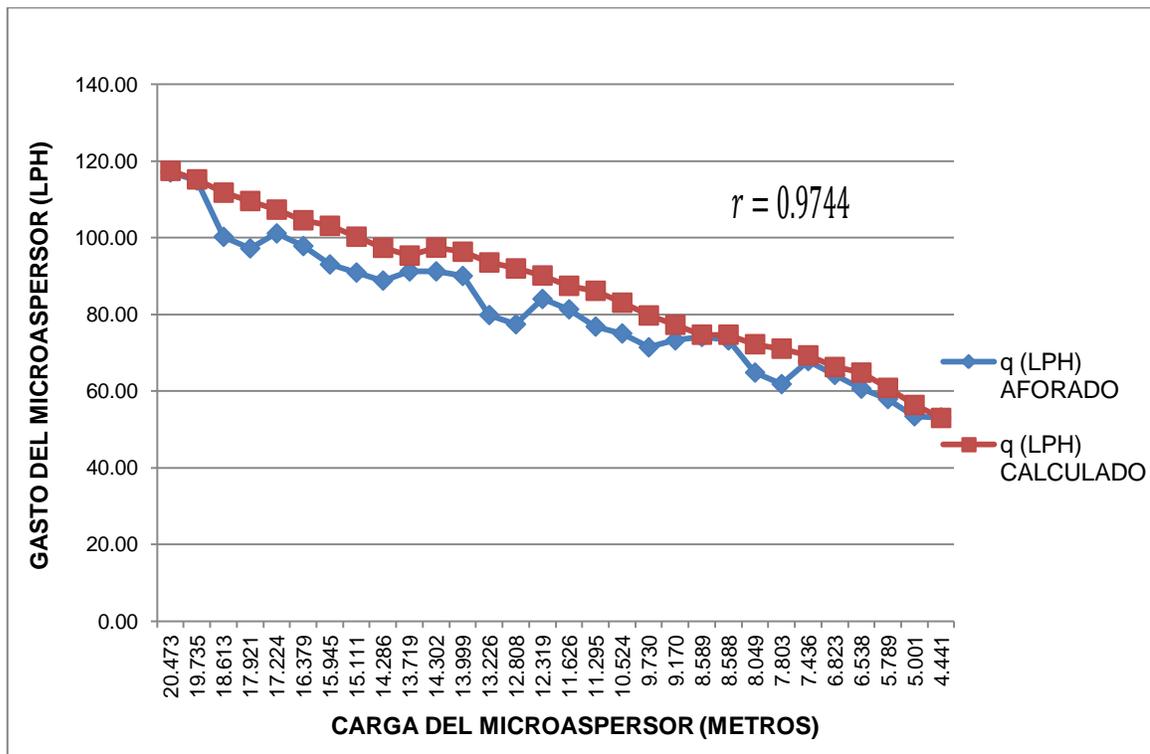


Figura 4.5. Comparación de gastos calculados contra aforados en una línea regante con manguera de polietileno con microaspersores Naandanjain a presiones de entrada de 72,50 y 30 pies.

4.4. Funcionamiento Hidráulico de los Bloques de Riego Utilizando el MEF con Líneas Regantes de Goteo Integrado, Cinta de Goteo y Microaspersión, mostrando las Uniformidades.

En la Figura 4.6. se distingue el funcionamiento hidráulico del bloque de riego por goteo integrado con línea distribuidora de PVC 1 ½" Ø operando a 9.214 mca (30 pies) en la válvula, distribuyendo un caudal de 5.94 m³/hr a 20 líneas regantes con manguera de goteo integrado Netafim 16 mm/4 LPH/100 cm de 81 metros, podemos observar que la mayoría está en el rango de 3 a 3.5 LPH, en los goteros de las primeras regantes se aprecian unos caudales mayores estos entre 3.5 a 4 LPH, mientras que en los últimos emisores del 60 al 81, de las últimas líneas regantes es donde más bajo está el gasto de los goteros (2.5-3 LPH), en la primer línea regante se tiene un caudal de 3.5 a 4 LPH. Las uniformidades del bloque se encuentran en un rango de excelente de acuerdo con Karmeli y Keller (1974) y son las siguientes: DU (%)= 92.70, CU (%)= 94.33 y EU (%)=91.88.

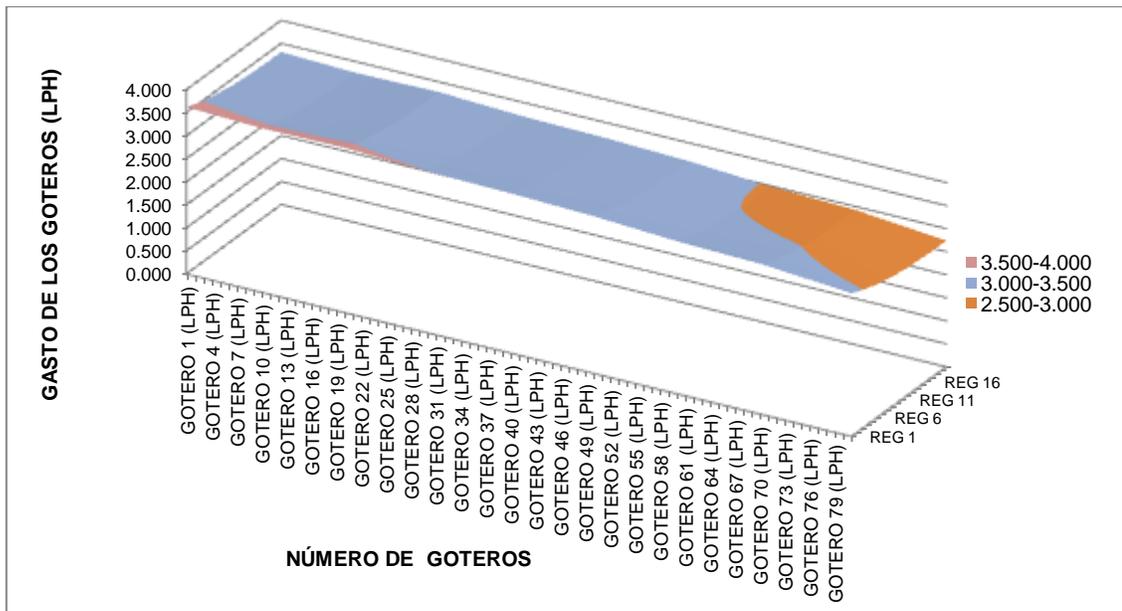


Figura 4.6. Funcionamiento hidráulico del bloque de riego de goteo aplicando el MEF con manguera de goteo integrado Netafim 16 mm/4 LPH/100 cm con una distribuidora de PVC 1 ½" Ø a una presión de entrada en la válvula de 9.214 metros.

En la Figura 4.7. se observa que el funcionamiento hidráulico de los emisores en todo el bloque de riego con distribuidora de PVC 1 ½" Ø la cual entrega un caudal de 11.68 m³/hr a 20 líneas regantes de cinta de goteo Aqua-Traxx EA5081234 de 74 metros que operan con una presión en la válvula de 13.397 mca, podemos observar que se encuentran los emisores con un caudal de 1 a 1.5 LPH y con un caudal de 1.5 a 2 LPH. Las uniformidades para el diseño son DU (%)= 89.54, CU (%)= 89.64 y EU (%)= 88.86, que de acuerdo con Karmeli y Keller (1974) son buenas.

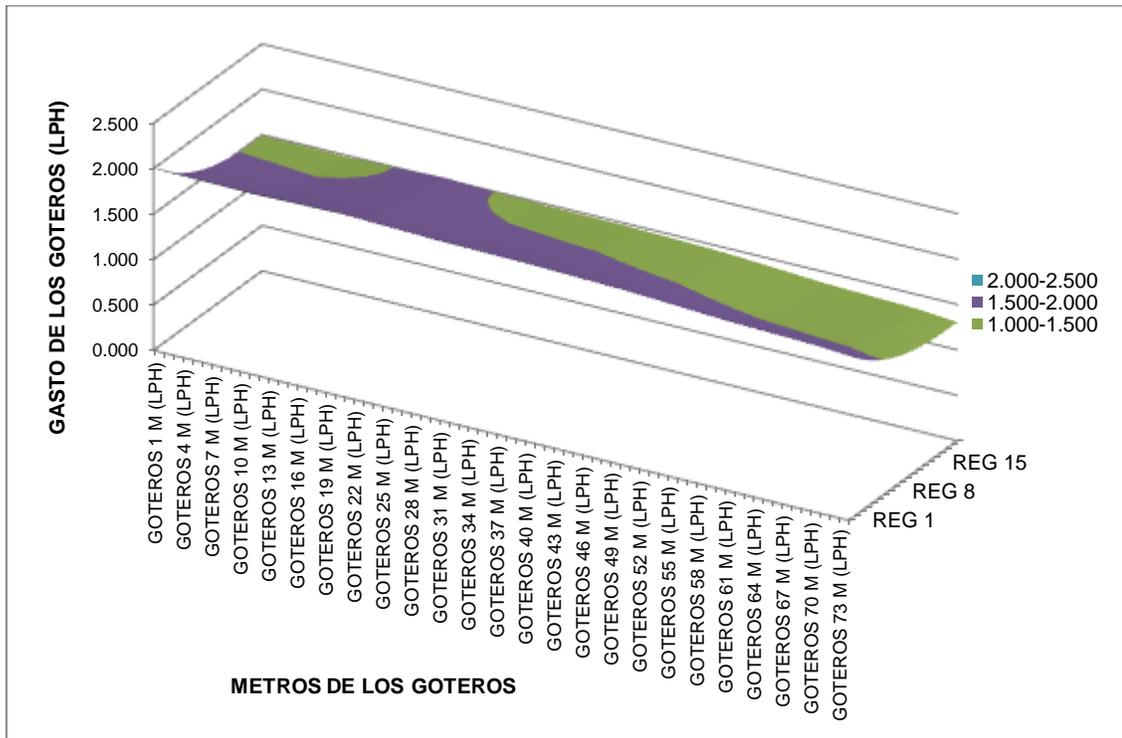


Figura 4.7. Funcionamiento hidráulico para el bloque de riego de goteo aplicando el MEF con cinta de goteo Aqua-Traxx EA5081234 con una distribuidora de PVC 1 ½" Ø a una presión de entrada en la válvula de 13.397 metros.

En la Figura 4.8 se aprecia que el funcionamiento hidráulico en todo el bloque de riego operado con distribuidora de PVC 2" Ø que proporciona un caudal de 19.54 m³/hr, que está irrigando 20 líneas con manguera de polietileno 19 mm Ø con microaspersores Naandanjain base naranja boquilla 1.5 mm, a una presión en la entrada de válvula de 17.834 mca, podemos observar que los emisores proporcionan cuatro distintos gastos el más bajo es del rango de 60 a 80 LPH que están en los últimos emisores de las últimas líneas regantes, el gasto de 80 a 100 LPH se encuentra de la mitad de las regantes hacia las ultimas, mientras que el gasto de los microaspersores desde 100 a 120 LPH está en los microaspersores de las primeras regantes, el gasto mayor se observa en los dos primeros microaspersores en la primer regante con un rango de 120 a 140 LPH. Las uniformidades reportadas de acuerdo con Karmeli y Keller (1974) son buenas, las cuales se representan como: DU (%)= 88.10, CU (%)= 90.15 y EU (%)= 80.27.

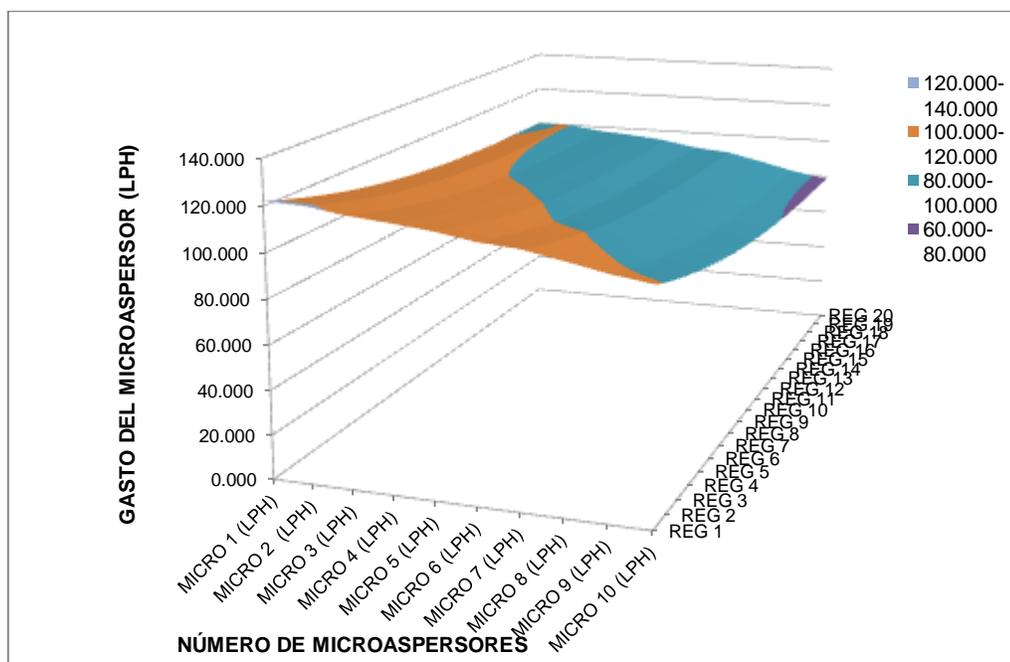


Figura 4.8. Funcionamiento hidráulico para el bloque de riego de microaspersión aplicando el MEF con manguera de polietileno 19 mm Ø, microaspersores Naandanjain, con una distribuidora de PVC 2" Ø a una presión de entrada en la válvula de 17.834 metros.

4.5. Reportes y Diagramas de Uniformidad de los Bloques de Riego Utilizando Aqua Flow 3.2 con Líneas Regantes de Goteo Integrado y Cinta de Goteo.

En la Figura 4.9. podemos ver: **a).** Los reportes de las especificaciones generales de la regante Drip In DC55100-42 de 81 metros de longitud mostrando la presión a la entrada que son 10 mca, la presión mínima 7.3, el caudal promedio del gotero 3.49 LPH y la uniformidad de la regante ($Eu\%= 90.30$) la cual es determinada como excelente, también se aprecian las características de la distribuidora (Manifold), manguera Oval Hose 42 PSI 1 ½" Ø, el caudal del bloque de riego 4.64 m³/hr y la uniformidad del bloque de riego($Eu\%= 85.5$) el cual es una uniformidad buena de acuerdo a la clasificación de Keller y Bliesner (1990); **b).** Se distinguen las gráficas de caudal del gotero, que en los primeros 20 metros de la regante tiende a ser lineal y hasta los 81 metros va cayendo el caudal, eso se debe a la pendiente que se manejó en el diseño, por otro lado en la gráfica de la presión de la regante cae de 1 bar a 0.7 bar (10 mca a 7 mca). **c).** Se muestra la gráfica de desnivel de la regante la cual es tomada como ascendente o descendente lo cual implica que no toma valores de cotas intermedios. **d).** Por último se aprecia el diagrama de uniformidad del bloque de riego por goteo integrado que distribuye el agua a 20 líneas regantes, dicho diagrama indica con la variación de colores cuando en caudal es más homogéneo tienden a ser máximo tres colores, mayor a estos se ve afectado en la uniformidad del riego, una de las razones por la que se presenta así pudiera ser debido a la pendiente o a la dimensión del bloque.



Toro AquaFlow 3.2 Reporte del Diseño

GOTEO INTEGRADO PRESIÓN MÍNIMA 7.315 MCA

Lateral

Sección	Distancia (m)	Desnivel (m)	Pendiente (%)
0	0.00	0.0	0.0
20.1168	-0.51	2.5	
81.0768	1.81	-3.8	

Tipo de Producto	Custom	Modelo	DC55100-42
Longitud:	81 m	Presión de Entrada:	1.0 bar
Caudal de Lateral:	265.08 l/hr/Lateral	Caudal Gotero (Prom):	3.49 l/hr / Gotero
EU% Lateral Individual:	90.30 EU%	Tiempo de Trayectoria:	15.82 Minutos
Presión Mínima:	0.73 bar	Presión Máxima:	1.00 bar
Coefficiente del Gotero:	0.24	Exponente del Gotero X	0.53

Posición de Manifold:	0.0 %
Caudal Promedio:	3.27 l/hr/m
Caudal Got. Min/Máx:	84.73 %
Diámetro Interior:	13.970 mm
Distancia entre Goteros:	107 cm

Lavado de Lateral

Entrada:

Presión Final: **0.1 bar**
 Velocidad de Lavado: **0.30 m/s**
 Presión Inicio Lateral: **0.7 bar**

Cálculo Basado en Presión de Entrada:

Velocidad:
 Presión de Entrada:
 Caudal Salida Lateral:
 Caudal de Goteros:
 Caudal Inicio Lateral:
 Tiempo de Trayectoria:
 Presión Final:

Cálculo Basado en Velocidad de Lavado:

0.30 meters/sec
NeuN bar
168.19 l/hr
NeuN l/hr
NeuN l/hr
NeuN minutos
0.10 bar

Manifold

Tipo de Tubería:	Oval Hose	Diámetro y Cedula de Tubería:	Oval Hose 42 PSI, 1-1/2"	Pendiente:	0.0 %
Longitud:	200 m	Presión de Entrada:	1.0 bar	Distancia entre Surcos:	1,000 cm
Caudal Bloque de Riego:	4,649.80 m³/hr	Uniformidad Emisión Bloque:	85.50 EU%	Caudal Mínimo de Lateral:	236.93 l/hr
Caudal de Lateral (Máx):	264.63 l/hr	Caudal de Lateral Min/Máx:	89.53 %	Presión Mínima:	0.82 bar
Presión Máxima:	1.00 bar	Diámetro Interior:	40.513 mm	Coefficiente de Rugosidad:	140.00
Area del Bloque:	1.54 hectares	Caudal:	3,018.4 m³/hr/ha	Tasa de Precipitación:	0.302 mm/hr
Tubería Total:	1,000 m				

Lavado de Manifold

Figura 4.9. a).

Entrada:

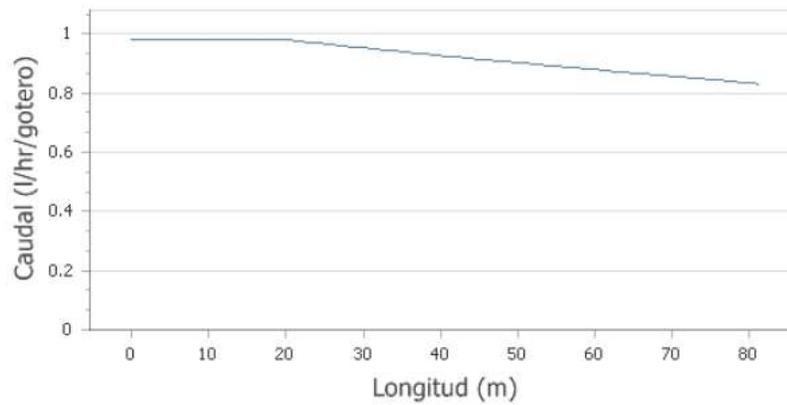
Presión Final: **0.7 bar**
Velocidad de Lavado: **0.46 m/s**
Presión Inicio Lateral: **0.7 bar**

**Cálculo Basado en
Presión de Entrada:**

Velocidad:
Presión de Entrada:
Caudal Salida
Manifold:
Caudal de Laterales:
Caudal Inicio Manifold:
Tiempo de Trayectoria:
Presión Final:

**Cálculo Basado en
Velocidad de Lavado:**

0.46 meters/sec
NeuN bar
2121.70 l/hr
NeuN l/hr
NeuN l/hr
NeuN minutos
0.70 bar

Caudal de Gotero

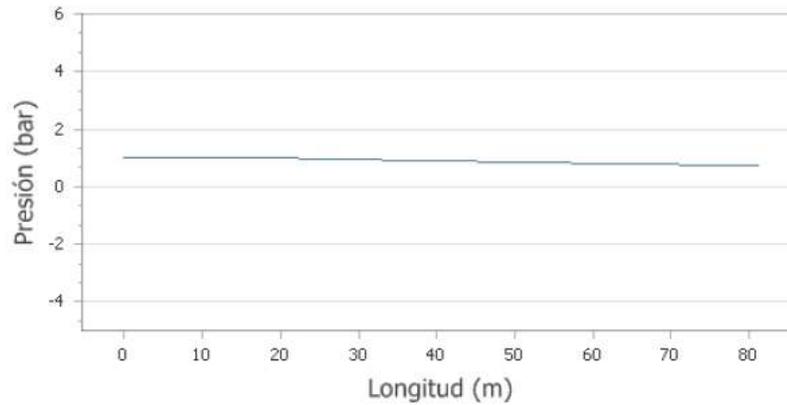
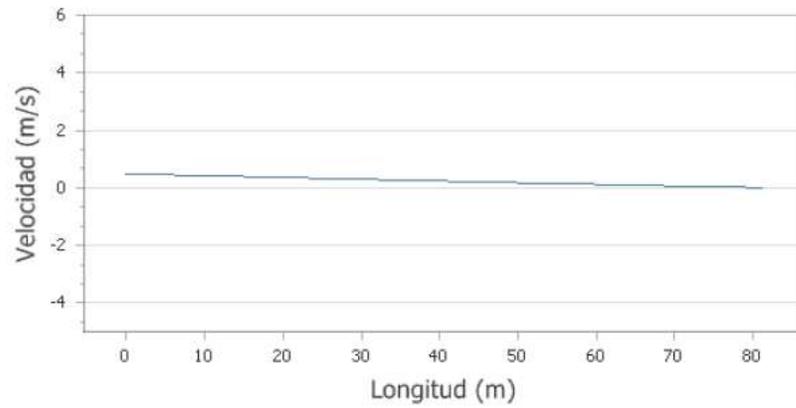
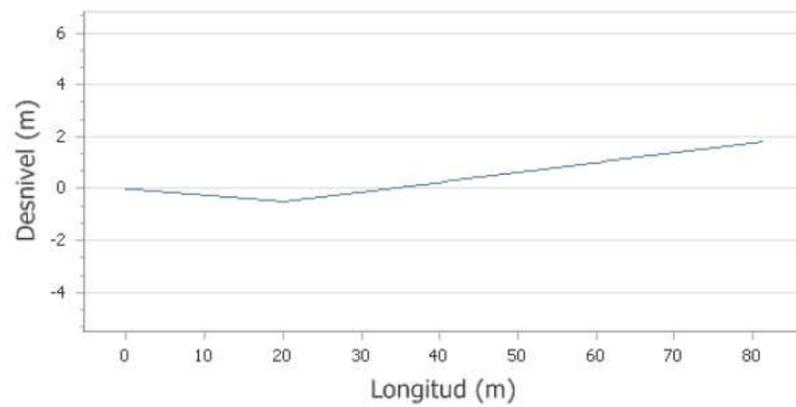
Presión de Lateral

Figura 4.9. b).

Velocidad de Lateral



Desnivel de Lateral



Presión de Manifold

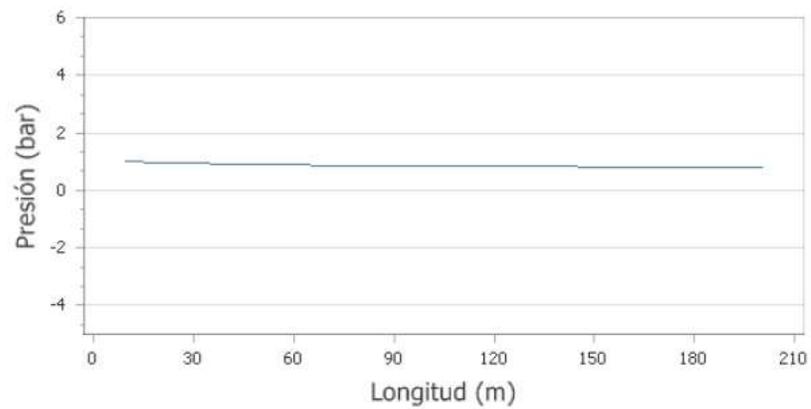


Figura 4.9. c).

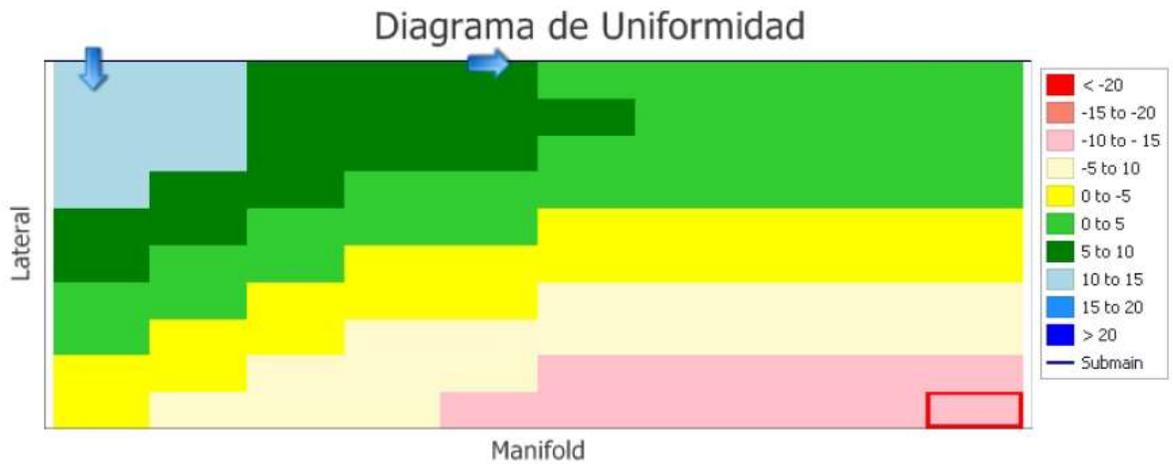
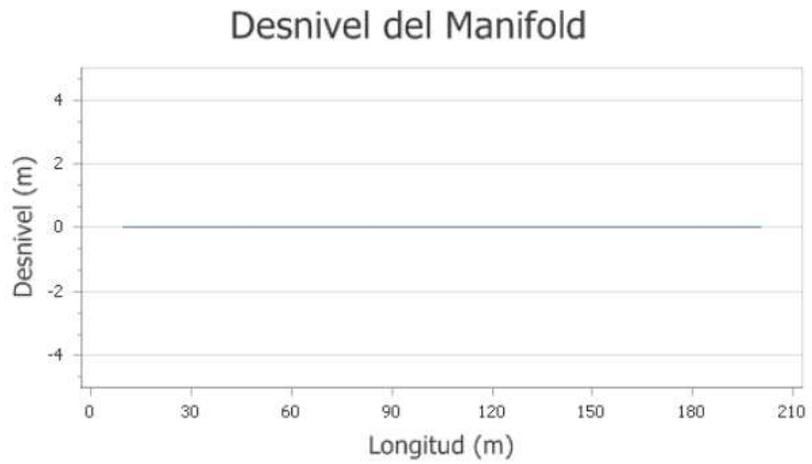


Figura 4.9. d). Reporte de Aqua Flow 3.2 con manguera Drip In DC55100-42 y distribuidora Oval Hose 42 PSI 1 ½" Ø a una presión de entrada de 10 mca.

En la Figura 4.10. **a)**. Se observan los reportes de las especificaciones generales de la regante Aqua Traxx EA5xx1234 de 74 metros de longitud mostrando la presión a la entrada que es 9 mca, la presión mínima 7.3 mca, el caudal promedio del gotero 0.94 LPH y la uniformidad de la regante 89.46 % la cual es clasificada como buena, también se aprecian las características de la distribuidora, manguera Oval Hose 42 PSI 1 ½" Ø, el caudal del bloque de riego 4.02 m³/hr y la uniformidad del bloque de riego 86.84 % el cual es una uniformidad buena de acuerdo a la clasificación de Karmeli y Keller (1974). **b)**. Se distingue la gráfica de caudal del gotero, que tiende a incrementarse hasta los 20 metros de la regante y después va disminuyendo hasta los 81 metros, esto está directamente relacionado con la pendiente de diseño, por otro lado la gráfica de la presión de la regante tiende a caer en línea recta. **c)**. Se ve la gráfica de desnivel de la regante que está en dos tramos en los primeros 20 metros desciende casi medio metro y posteriormente asciende cerca del metro y medio. **d)**. Por último se aprecia el diagrama de uniformidad del bloque de riego por goteo integrado distribuye el agua a 20 líneas regantes el cual tiene cinco colores lo que significa que la variación de caudales es amplia.



Toro AquaFlow 3.2 Reporte del Diseño CINTA DE GOTEO PRESIÓN MÍNIMA 7.315 MCA 1 1/2 "

Lateral

Sección	Distancia (m)	Desnivel (m)	Pendiente (%)
0	0.00	0.0	
20.1168	-0.49	2.4	
74.0664	1.36	-3.4	

Tipo de Producto:	Aqua Traxx	Modelo:	EA5xx1234
Longitud:	74 m	Presión de Entrada:	0.9 bar
Caudal de Lateral:	225.78 l/hr/Lateral	Caudal Gotero (Prom):	0.94 l/hr / Gotero
EU% Lateral Individual:	89.46 EU%	Tiempo de Trayectoria:	21.80 Minutos
Presión Mínima:	0.73 bar	Presión Máxima:	0.93 bar
Coefficiente del Gotero:	0.07	Exponente del Gotero X:	0.50

Posición de Manifold:	0.0 %
Caudal Promedio:	3.08 l/hr/m
Caudal Got. Min/Máx:	88.91 %
Diámetro Interior:	16.129 mm
Distancia entre Goteros:	30 cm

Lavado de Lateral

Entrada:

Presión Final:	0.6 bar
Velocidad de Lavado:	0.30 m/s
Presión Inicio Lateral:	0.9 bar

Cálculo Basado en Presión de Entrada:

Velocidad:	0.34
Presión de Entrada:	0.90
Caudal Salida Lateral:	247.99
Caudal de Goteros:	205.86
Caudal Inicio Lateral:	453.84
Tiempo de Trayectoria:	2.69
Presión Final:	0.60

Cálculo Basado en Velocidad de Lavado:

0.30 meters/sec
0.88 bar
224.19 l/hr
204.53 l/hr
428.72 l/hr
2.91 minutos
0.60 bar

Manifold

Tipo de Tubería:	Oval Hose	Diámetro y Cedula de Tubería:	Oval Hose 42 PSI, 1-1/2"	Pendiente:	0.0 %
Longitud:	200 m	Presión de Entrada:	0.9 bar	Distancia entre Surcos:	1,000 cm
Caudal Bloque de Riego:	4,024.52 m³/hr	Uniformidad Emisión Bloque:	86.84 EU%	Caudal Mínimo de Lateral:	206.49 l/hr
Caudal de Lateral (Máx):	225.40 l/hr	Caudal de Lateral Min/Máx:	91.61 %	Presión Mínima:	0.76 bar
Presión Máxima:	0.90 bar	Diámetro Interior:	40.513 mm	Coefficiente de Rugosidad:	140.00
Area del Bloque:	1.41 hectares	Caudal:	2,859.8 m³/hr/ha	Tasa de Precipitación:	0.286 mm/hr
Tubería Total:	1,000 m				

Lavado de Manifold

Figura 4.10. a).

Entrada:

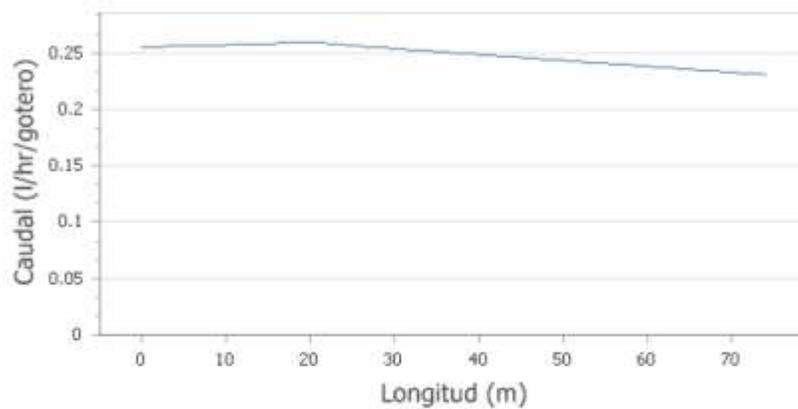
Presión Final: **0.7 bar**
Velocidad de Lavado: **0.46 m/s**
Presión Inicio Lateral: **0.9 bar**

**Cálculo Basado en
Presión de Entrada:**

Velocidad: **0.09**
Presión de Entrada: **0.90**
Caudal Salida
Manifold: **402.28**
Caudal de Laterales: **4131.46**
Caudal Inicio Manifold: **4533.74**
Tiempo de Trayectoria: **8.46**
Presión Final: **0.70**

**Cálculo Basado en
Velocidad de Lavado:**

0.46 meters/sec
1.22 bar
2121.70 l/hr
4482.26 l/hr
6603.97 l/hr
3.90 minutos
0.70 bar

Caudal de Gotero

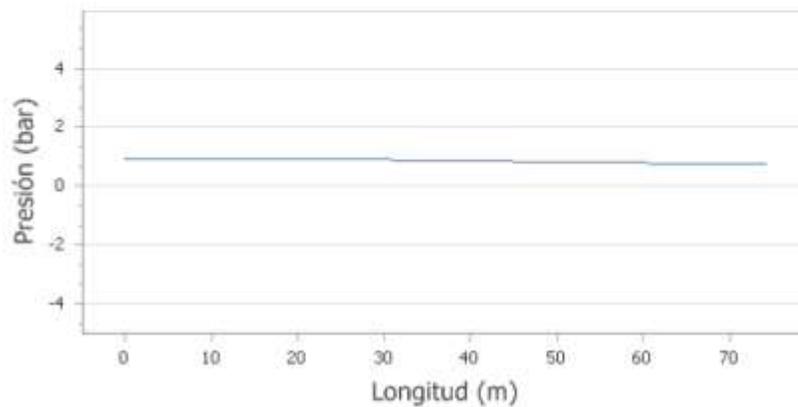
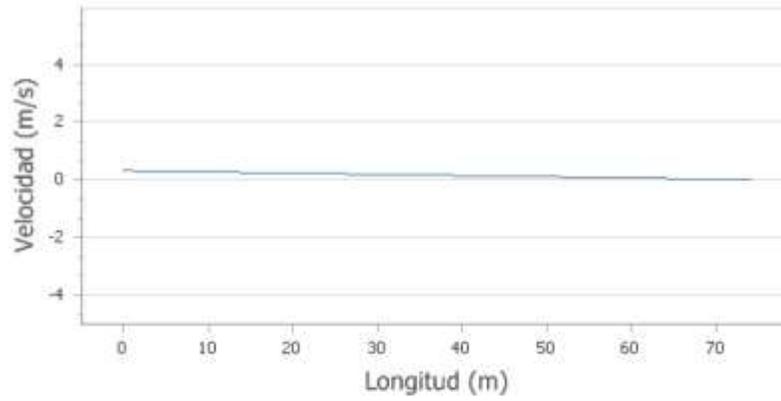
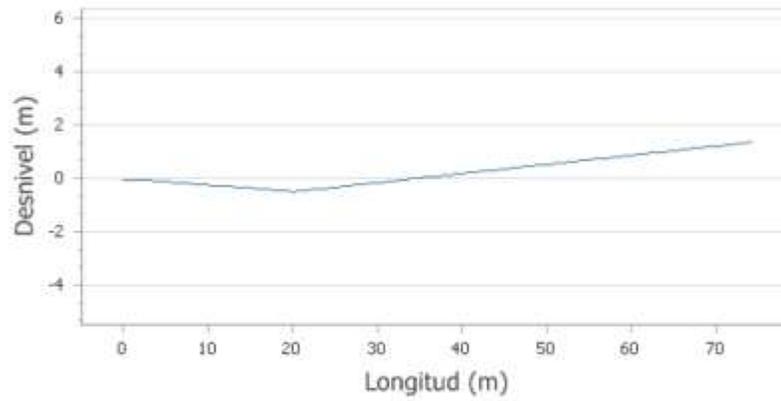
Presión de Lateral

Figura 4.10. b).

Velocidad de Lateral



Desnivel de Lateral



Presión de Manifold

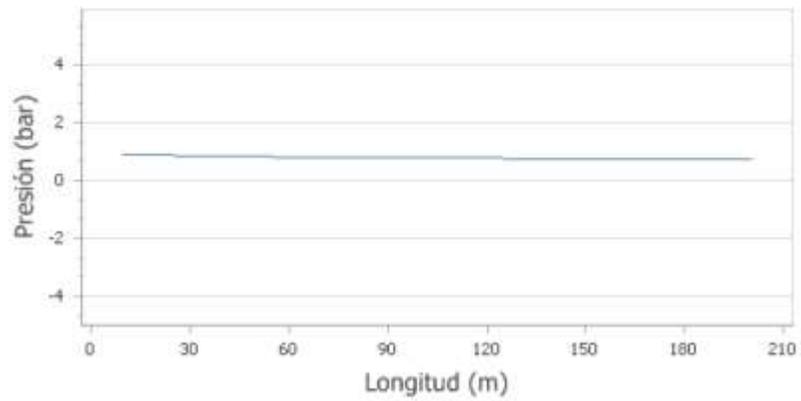


Figura 4.10. c).

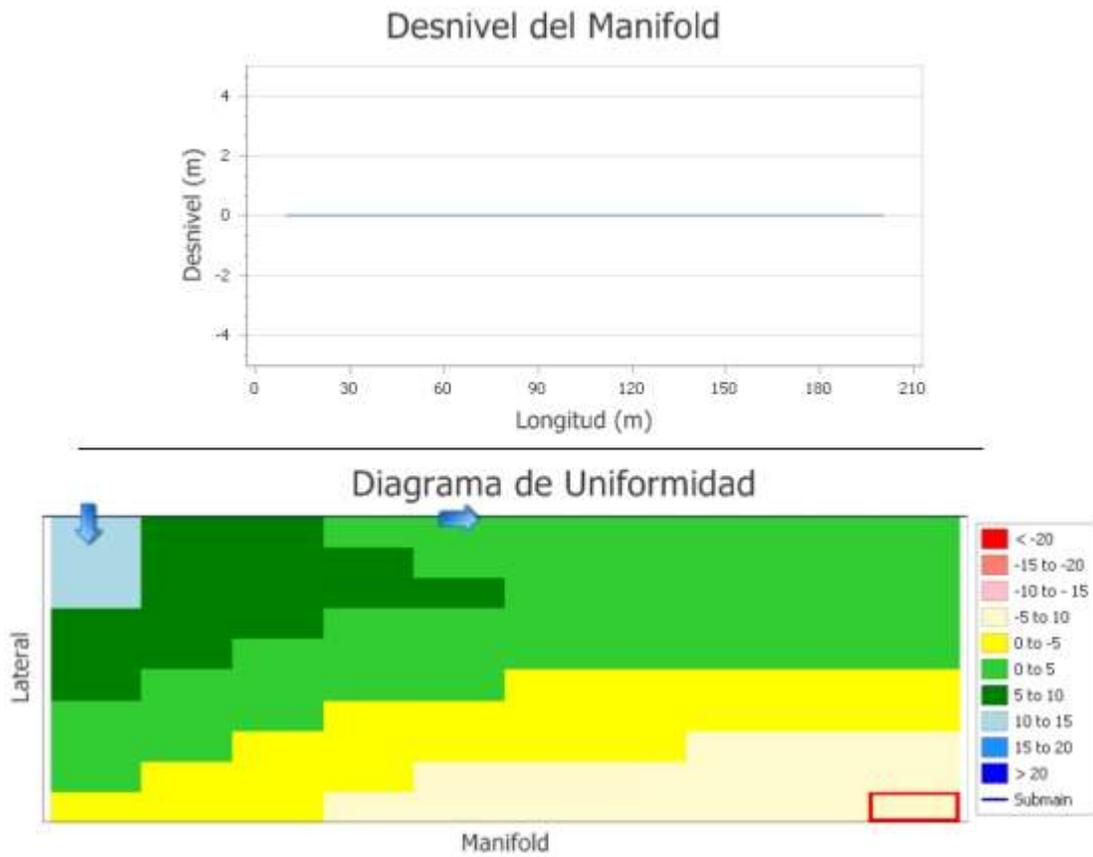


Figura 4.10. d). Reporte de Aqua Flow 3.2 con cinta Aqua Traxx EA5xx1234 y distribuidora Oval Hose 42 PSI 1 ½" Ø a una presión de entrada de 9 mca.

4.6. Reportes y Diseños de los Bloques de Riego Utilizando el Software IRRICAD Pro 11 con Líneas Regantes de Goteo Integrado, Cinta de Goteo y Microaspersión.

En la Figura 4.11. **a)** Se observan las especificaciones del bloque de riego por goteo integrado diseñado en IRRICAD el cual posee una presión antes de la válvula de 10.89 mca y después de 9.68 mca, con un flujo del bloque de riego de 5.16 m³/hr, también se distingue la presión y caudal máximo, mínimo y las actuales a la cual está funcionando el sistema, el caudal mínimo del bloque de riego es de 0.05 lpm (3 LPH) y el máximo de 0.07 lpm (4.2 LPH), la presión máxima es de 9.66 mca y la mínima de 5.47 mca, aunque la presión está por encima y por debajo de la permitida y el caudal del emisor está encima del máximo permitido, las uniformidades arrojadas por IRRICAD demuestran que el diseño es de clasificación excelente, con Du%= 91.6, Cu%= 94.5 y Eu%= 91.6. **b)** Se presenta la lista de materiales utilizadas para el diseño del riego por goteo integrado con 20 líneas regantes Netafim In-Line 164 4LPH (1.0m), una distribuidora de 200 metros de PVC 40 mm Ø Class 6. **c)** Se distingue la disposición de diseño del sistema de riego por goteo integrado con las características dentro del sistema.

Irricad Version 11.1		Zone Design Report	
Company :	UAAAN	Designer :	PERLA YAZMIN DE LA C
Client :	VARIOS	Design Date :	06/11/2013
Site :	SALTILLO, COAHUILA	Report Date:	12/11/2013 06:57:17
Notes :			
Filename :	GOTEO INTEGRADO 1.des		

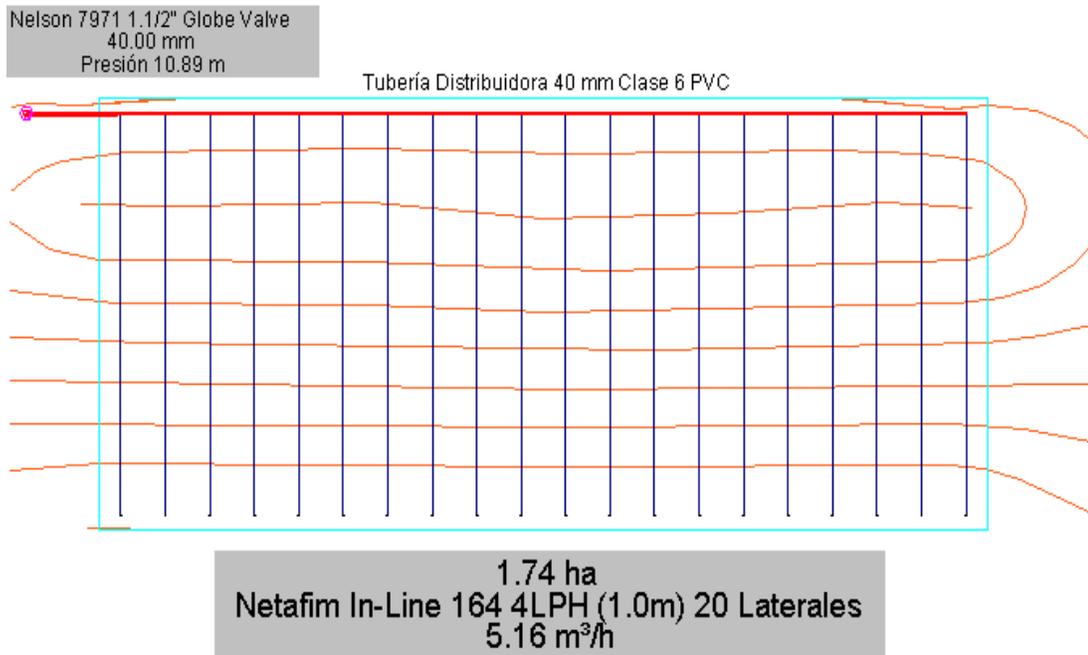
Zone Name :	GOTEO INTEGRADO	Valve Description :	Nelson 7971 1.1/2" Globe Valve	
Zone Head (D/S) :	9.68 (m)	Zone Head (U/S) :	10.89 (m)	
Total Zone Flow :	5.16 (m3/h)	Valve Headloss :	1.22 (m)	
	<u>Allowable Flow</u>	<u>Actual Flow</u>	<u>Allowable Pressure</u>	<u>Actual Pressure</u>
	(lpm)	(lpm)	(m)	(m)
Minimum Outlet	0.05	0.05	6.58	5.47 ***
Maximum Outlet	0.06	0.07 ***	8.05	9.66 ***
Outlet Variation (%)	9.18	23.90 ***	18.18	43.40 ***
Coefficient of variation =	0.000	Mean Emitter Flow =	0.06	No. of Emitters per Plant = 10
Cu =	94.5 (%)	Eu =	91.6 (%)	Du = 91.6 (%)
Outlet Locations (X,Y)	Minimum:	185.0, 3.0	Maximum:	5.0, 84.0

Figura 4.11. a).

Irricad Version 11.1		Bill of Materials		12/11/2013
Company :	UAAAN	Designer :	PERLA YAZMIN DE LA C	
Client :	VARIOS	Design Date :	06/11/2013	
Site :	SALTILLO, COAHUILA	Report Date:	12/11/2013 06:57:42	
Notes :				

Length/Number (m)	Description
1621	Netafim In-Line 164 4LPH (1.0m)
212	40 mm Class 6 PVC
1	Nelson 7971 1.1/2" Globe Valve
1	AJAX 1+LS 1450 RPM

Figura 4.11. b).



BLOQUE DE RIEGO GOTEO INTEGRADO

Figura 4.11. c). Bloque de riego con manguera de goteo integrado para un área de 1.74 ha.

En la Figura 4.12. **a).** Se aprecian las características del bloque de riego de cinta de goteo diseñado en IRRICAD que antes de la válvula tiene una presión de 9.70 mca y después de 8.74 mca, en la distribuidora de 1 ½" Ø pasa un flujo del bloque de 4.35 m³/hr que irriga 20 regantes, el caudal mínimo del emisor es de 0.01 lpm (0.6 LPH) y el máximo de 0.02 lpm (1.2 LPH) están dentro de los permitidos por el programa, la presión máxima es de 8.95 mca que está por encima de la permitida que es 7.68 mca y la mínima de 6.38 mca que se encuentra por debajo de la permitida de 6.95 mca, las uniformidades calculadas por IRRICAD son Du%= 94.1, Cu%= 96.4 y Eu%= 94.1 y demuestran que el diseño es excelente. **b).** Se exhibe la lista de materiales utilizadas para el diseño del riego de cinta con 20 líneas regantes Aqua-TraXX EA5xx1234, una distribuidora de 200 metros de PVC 40 mm Ø Class 9. **c).** Se percibe el arreglo del diseño del sistema de riego con cinta de goteo, especificando las propiedades del bloque.

Irricad Version 11.1		Zone Design Report	
Company :	UAAAN	Designer :	PERLA YAZMIN DE LA C
Client :	VARIOS	Design Date :	11/11/2013
Site :	SALTILLO, COAHUILA	Report Date:	12/11/2013 07:58:29
Notes :			
Filename :	CINTA DE GOTEO 2.des		

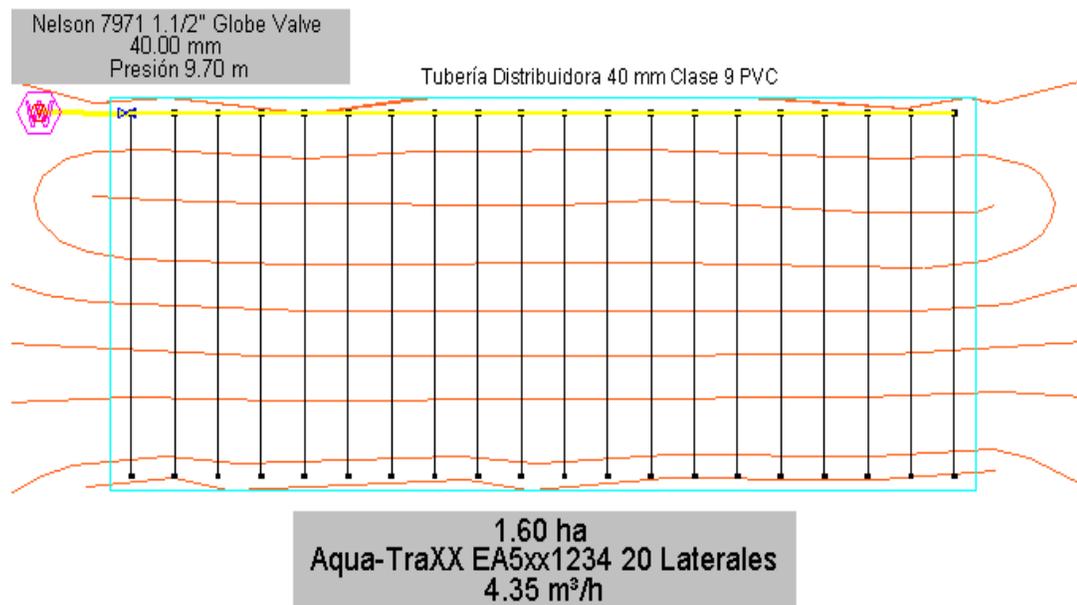
Zone Name :	BLOQUE CINTA DEG	Valve Description :	Nelson 7971 1.1/2" Globe Valve	
Zone Head (D/S) :	8.74 (m)	Zone Head (U/S) :	9.70 (m)	
Total Zone Flow :	4.35 (m3/h)	Valve Headloss :	0.96 (m)	
	Allowable Flow	Actual Flow	Allowable Pressure	Actual Pressure
	(lpm)	(lpm)	(m)	(m)
Minimum Outlet	0.01	0.01	6.95	6.38 ***
Maximum Outlet	0.02	0.02	7.68	8.95 ***
Outlet Variation (%)	5.58	17.65 ***	9.52	28.71 ***
Coefficient of variation =	0.000	Mean Emitter Flow =	0.02	No. of Emitters per Plant = 10
Cu = 96.4 (%)		Eu = 94.1 (%)		Du = 94.1 (%)
Outlet Locations (X,Y)	Minimum:	195.0, 3.0	Maximum:	5.0, 59.7

Figura 4.12. a).

Irricad Version 11.1		Bill of Materials		12/11/2013
Company :	UAAAN	Designer :	PERLA YAZMIN DE LA C	
Client :	VARIOS	Design Date :	11/11/2013	
Site :	SALTILLO, COAHUILA	Report Date:	12/11/2013 07:59:45	
Notes :				

Length/Number (m)	Description
1481	Aqua-TraXX EA5xx1234
212	40 mm Class 9 PVC
1	Nelson 7971 1.1/2" Globe Valve
1	AJAX 1+LS 1450 RPM

Figura 4.12. b).



BLOQUE DE RIEGO DE CINTA DE GOTEO

Figura 4.12. c). Bloque de riego con cinta de goteo para un área de 1.60 ha.

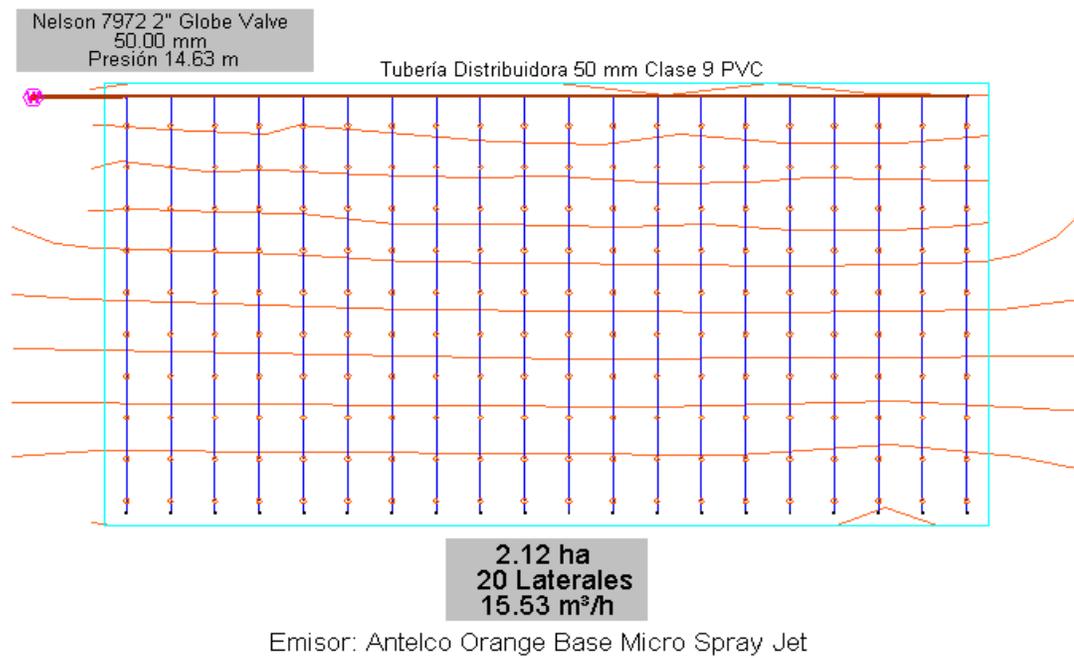
En la Figura 4.13. **a)**. Se perciben las características del bloque de riego de microaspersión diseñado en IRRICAD con una presión antes de la válvula de 14.63 mca y después de 13.48 mca, la línea distribuidora de 2" Ø con un flujo para todo el bloque de 15.53 m³/hr, irrigando 20 líneas con 10 microaspersores y 100 metros de longitud cada una, el caudal mínimo del microaspersor es de 0.92 lpm (55.2 LPH) y el máximo de 1.76 lpm (105.6 LPH), está por debajo del mínimo que es 1.23 lpm y por encima del máximo de 1.36 lpm, la presión máxima es de 12.95 mca que está por encima de la permitida que es 8.01 mca y la mínima de 3.90 mca que se encuentra por debajo de la permitida de 6.65, las uniformidades presentadas por IRRICAD son Du%= 81.08, Cu%= 88.20 y Eu%= 81.08, es un diseño bueno de acuerdo con Karmeli y Keller (1974). **b)**. Se presenta la lista de materiales utilizadas para el diseño del riego por microaspersión con 20 líneas regantes de 19 mm Ø, 200 microaspersores Antelco base naranja, bomba y una distribuidora de 200 metros de PVC 50 mm Ø Class 9. **c)**. Se muestra el arreglo del diseño del sistema de riego de microaspersión, con sus características dentro del bloque.

Irricad Version 11.1		Zone Design Report	
Company :	UAAAN	Designer :	PERLA YAZMIN DE LA C
Client :	VARIOS	Design Date :	12/11/2013
Site :	SALTILLO, COAHUILA	Report Date:	13/11/2013 04:25:41
Notes :			
Filename : BLOQUE DE RIEGO MICROASP			
Zone Name : BLOQUEMICROASPE		Valve Description : Nelson 7972 2" Globe Valve	
Zone Head (D/S) :	13.48 (m)	Zone Head (U/S) :	14.63 (m)
Total Zone Flow :	15.53 (m3/h)	Valve Headloss :	1.15 (m)
	<u>Allowable Flow</u>	<u>Actual Flow</u>	<u>Allowable Pressure</u>
	(lpm)	(lpm)	(m)
Minimum Outlet	1.23	0.92 ***	6.65
Maximum Outlet	1.36	1.76 ***	8.01
Outlet Variation (%)	9.52	47.51 ***	17.00
Coefficient of variation = 0.000		Mean Emitter Flow =	1.30
Cu = 88.2(%)		Eu = 81.08(%)	No. of Emitters per Plant = 1
Du = 81.08(%)		Du = 81.08(%)	
Outlet Locations (X,Y)	Minimum:	175.0, 6.0	Maximum: 5.0, 96.0

Figura 4.13. a).

Irricad Version 11.1		Bill of Materials		13/11/2013
Company :	UAAAN	Designer :	PERLA YAZMIN DE LA C	
Client :	VARIOS	Design Date :	12/11/2013	
Site :	SALTILLO, COAHUILA	Report Date:	13/11/2013 04:42:07	
Notes :				
Length/Number (m)	Description			
2001	19mm Lateral Tube			
211	50 mm Class 9 PVC			
1	Nelson 7972 2" Globe Valve			
1	AJAX 1+LS 1450 RPM			
200	Antelco Orange Base Micro Spray Jet			
200	Antelco Collar Pipe & 5mm Tube			
200	180 180.0			

Figura 4.13. b).



BLOQUE DE RIEGO MICROASPERSIÓN

Figura 4.13. c). Bloque de riego por microaspersión para un área de 2.12 ha.

4.7. Gradiente Hidráulico de la Línea Regante Promedio en los Bloques de Riego con Goteo Integrado, Cinta de Goteo y Microaspersión.

En la Figura 4.14. **a)**. Se observan los gradientes hidráulicos de las líneas regantes promedio en el diseño del bloque de riego por goteo integrado con los distintos programas, MEF, IRRICAD y Aqua Flow, se puede distinguir que IRRICAD es el diseño en el cual sus presiones de trabajo son mayores respecto de los otros diseños, mientras que MEF y Aqua flow trabajan con presiones similares ya que las líneas de operación no se desvían mucho entre sí, de acuerdo a la pendiente del terreno que desciende en los primeros 30 metros el gradiente sigue el mismo sentido, el MEF no mostró diferencias en cuanto a IRRICAD, mientras que el MEF con Aqua Flow y Aqua Flow con IRRICAD demostraron diferencias. **b)**. Se muestra el gradiente hidráulico de una línea de cinta de goteo con los tres programas de diseño con MEF, Aqua Flow e IRRICAD, el MEF es el que está más separado de las tendencias de los otros métodos, los tres siguen el mismo modelo, podemos distinguir que las presiones en la regante no descienden tanto y siguen casi una línea recta, el MEF con IRRICAD y el MEF con Aqua Flow demostraron tener diferencias, mientras que el IRRICAD con Aqua Flow demostraron ser estadísticamente iguales. **c)**. Se observa la tendencia del gradiente hidráulico de una línea regante de microaspersión con el MEF e IRRICAD, se puede apreciar que el MEF opera con presiones mayores a las IRRICAD, pero siguen la misma línea descendente en las cargas de trabajo, la prueba estadística demostró diferencias en cuanto a los métodos.

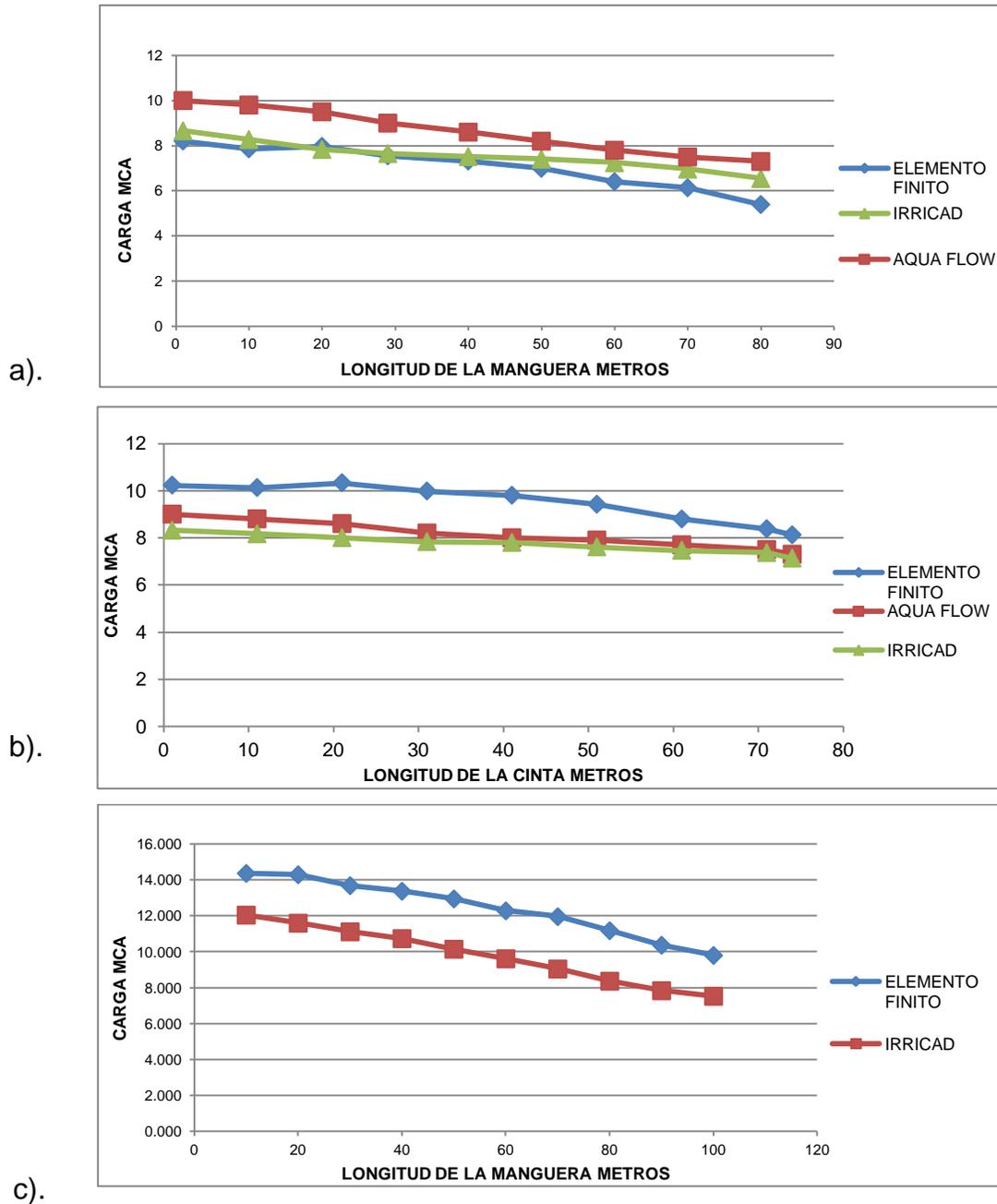


Figura 4.14. a). Comparación de los gradientes hidráulicos para la línea regante promedio del bloque de riego de goteo integrado con MEF, IRRICAD y Aqua Flow. b). Comparación del gradiente hidráulico para la línea regante promedio del bloque de riego con cinta de goteo con MEF, IRRICAD y Aqua Flow. c). Comparación del gradiente hidráulico para la línea regante promedio del bloque de riego por microaspersión con MEF e IRRICAD.

4.8. Comparación de las Presiones Máximas y Mínimas de los Diseños de Bloque de Riego por Goteo Integrado, Cinta de Goteo y Microaspersión, con MEF, Aqua Flow e IRRICAD.

En la Figura 4.15. **a)**. Se puede observar la comparación de las presiones máximas determinadas en tres diseños de riego por goteo integrado, los cuales fueron diseñados con características iguales para los tres bloques de 1.74 has y solo con diferentes presiones de diseño (7.315, 9.754 y 12.192 mca) para cada uno, con distribuidora de 1 ½" Ø, se percibe que las presiones entre los métodos probados, siguen la misma tendencia, a su vez el MEF es el que reporta menor carga de operación en la válvula en los tres diseños siendo más diferenciado en el tercer diseño, Aqua Flow es el que se encuentra más inmediato a IRRICAD, no obstante las pruebas estadísticas realizadas demuestran que no hay diferencias significativas en cuanto a ya mencionadas presiones. **b)**. Se pueden apreciar las presiones máximas reportadas en tres diseños de riego por cinta de goteo de 1.87 ha con características iguales, con diferentes presiones de diseño 7.25 mca, 9.90 mca y 11.70 mca, con distribuidora al centro de 1% de pendiente de 3" Ø, con 70 líneas regantes de 0.3 % de pendiente, podemos observar que para el bloque de riego con presión de 7.25 mca el MEF y Aqua Flow son muy similares sus presiones a la válvula, mientras que IRRICAD es más baja su presión con respecto a los otros dos métodos, en el segundo diseño la presión a la válvula fue mayor con MEF, siguiendo Aqua Flow y la más baja IRRICAD, por último en el tercer diseño la Aqua Flow e IRRICAD mostraron ser parecidas y el MEF siguió mostrándose como el mayor, la prueba estadística mostró no tener variaciones significativas. **c)**. Se muestran las presiones máximas en la válvula en tres diseños de microaspersión de 2.12 has cada uno con, presiones de diseño de 7.315, 12.192 y 17.557 mca, irrigando 20 laterales con una distribuidora de 2" Ø, evaluados con el MEF e IRRICAD, en la cual se observa que las presiones en IRRICAD son mayores respecto a las de MEF en los tres diseños a pesar de estas desviaciones la prueba estadística demostró que no existen diferencias entre los dos métodos probados (Apéndice D, E Y F)..

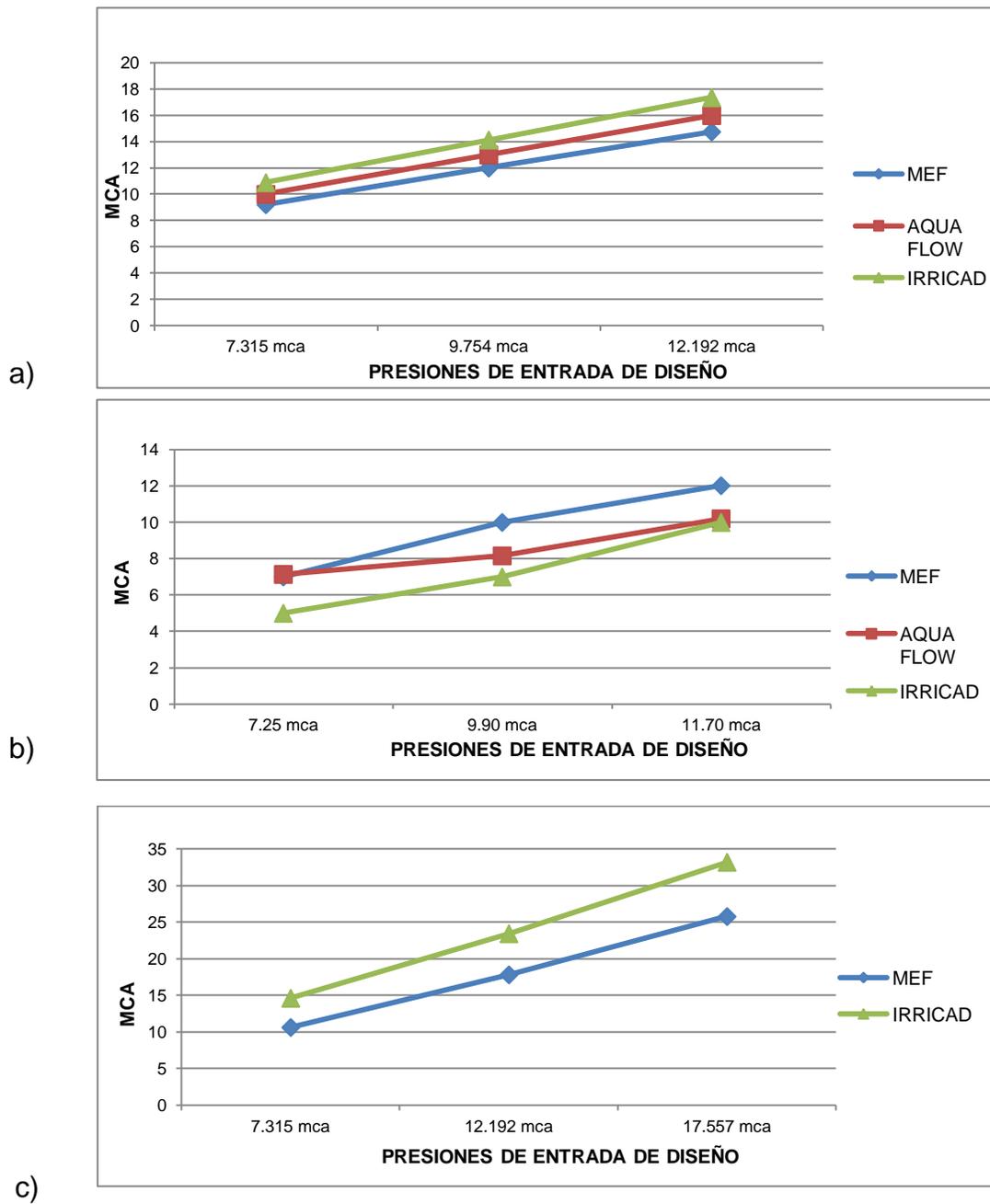


Figura 4.15. a). Comparación de las presiones máximas en la válvula determinadas para tres diseños de goteo integrado con MEF, Aqua Flow e IRRICAD. b). Comparación de las presiones máximas en la válvula determinadas para tres diseños de cinta de goteo con MEF, Aqua Flow e IRRICAD. c). Comparación de las presiones máximas en la válvula determinadas para tres diseños de microaspersión con MEF e IRRICAD.

En la Figura 4.16. podemos observar **a)**. La gráfica de comparación de las presiones mínimas determinadas para tres diseños de riego por goteo integrado, estos operados a presiones de diseños diferentes y las demás características iguales, se aprecia que el IRRICAD es donde existen menores cargas mínimas, el MEF y Aqua Flow son muy cercanos entre sí a pesar de las variaciones entre los métodos de diseño la diferencia entre ellos no es significativa. **b)**. La comparación de las presiones mínimas en tres diseños de cinta de goteo, operados a las mismas características, solo a distintas cargas de entrada de diseño, el IRRICAD reportó las presiones mínimas más pequeñas la más sobresaliente fue el MEF sobre el Aqua Flow, no obstante las diferencias mostradas en la prueba estadística no son significativas. **c)**. La gráfica comparativa de la presión mínima en tres diseños de microaspersión, estos fueron evaluados con iguales características, solo con la presión de diseño diferente, para MEF el cual reportó mayores las presiones mínimas en comparación con IRRICAD, dicha variación se pudo deber a que IRRICAD pudo haber tomado la presión de diseño como promedio, pese a las variaciones registradas, los métodos demostraron ser estadísticamente iguales (Apéndice D, E Y F).

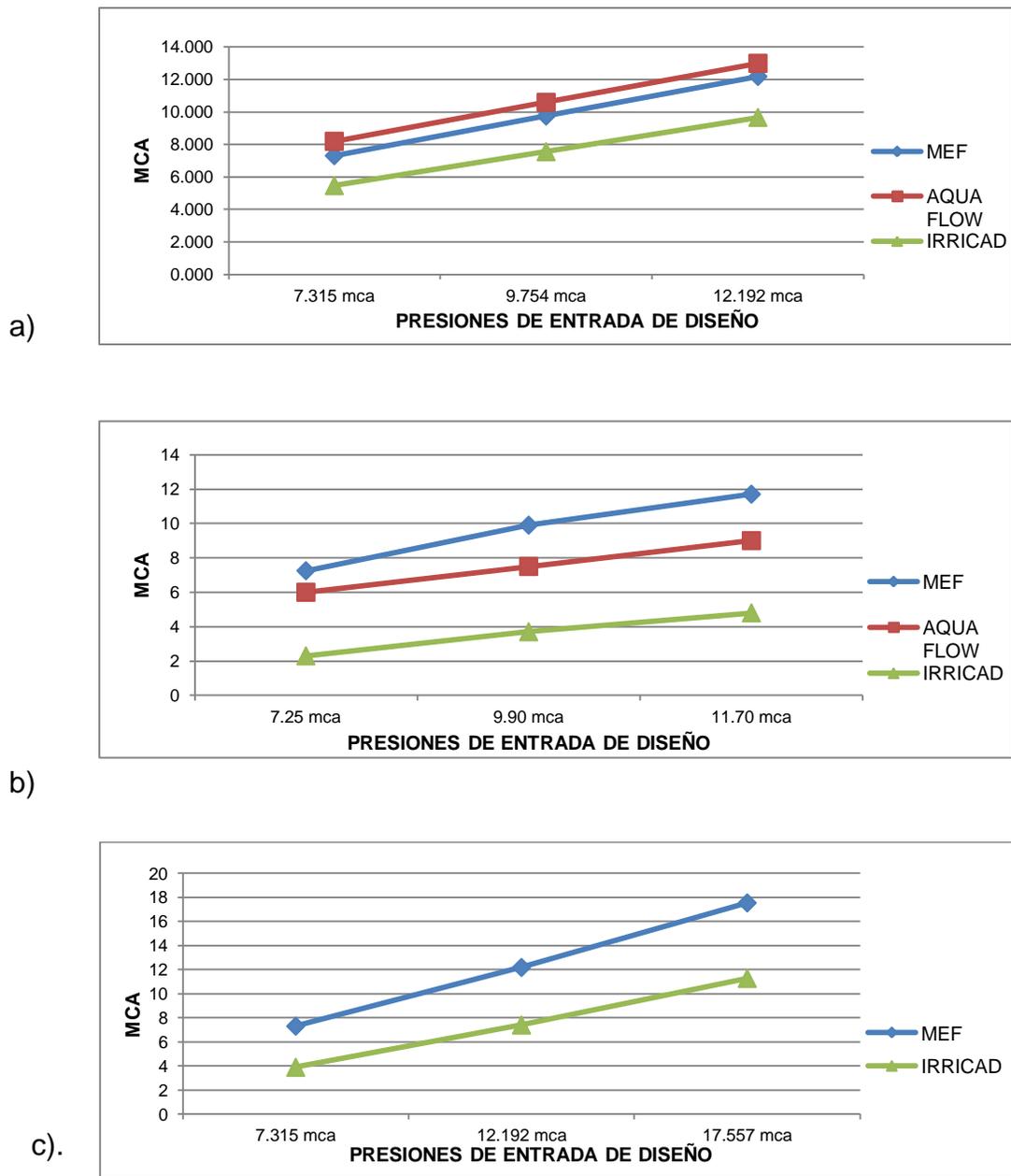


Figura 4.16. a). Comparación de las presiones mínimas determinadas para tres diseños de goteo integrado con MEF, Aqua Flow e IRRICAD. b). Comparación de las presiones mínimas determinadas para tres diseños de cinta de goteo con MEF, Aqua Flow e IRRICAD. c). Comparación de las presiones mínimas determinadas para tres diseños de microaspersión con MEF e IRRICAD.

4.9. Comparación del Flujo del Bloque de los Diseños de Bloque de Riego por Goteo Integrado, Cinta de Goteo y Microaspersión con MEF, Aqua Flow e IRRICAD.

En la Figura 4.17. **a).** Se observa la comparación del flujo de un bloque de riego por goteo integrado para tres diseños, el cual se aprecia que en los diseños el caudal de bloque es mayor en el MEF que en IRRICAD y Aqua Flow siendo este el más bajo, esto pudiera ser porque el MEF fue diseñado con características reales en campo, sin embargo a pesar de la variación los métodos de diseño son estadísticamente iguales. **b).** Podemos apreciar la comparación del flujo de un bloque de riego por cinta de goteo para tres diseños elaborados con el MEF, Aqua Flow e IRRICAD, en cual las características de diseños fueron las, el caudal de los bloques de riego es mayor en Aqua Flow, el MEF e IRRICAD son estadísticamente iguales, siendo mucha la diferencia entre Aqua Flow por lo que estadísticamente es diferente a los demás métodos. **c).** Se aprecia la comparación del flujo del bloque de riego de tres diseños por microaspersión diseñados con el MEF y el software IRRICAD, la gráfica demuestra que en los tres diseños los datos están muy juntos, por lo que son iguales entre sí de acuerdo a la prueba estadística (Apéndice D, E Y F).

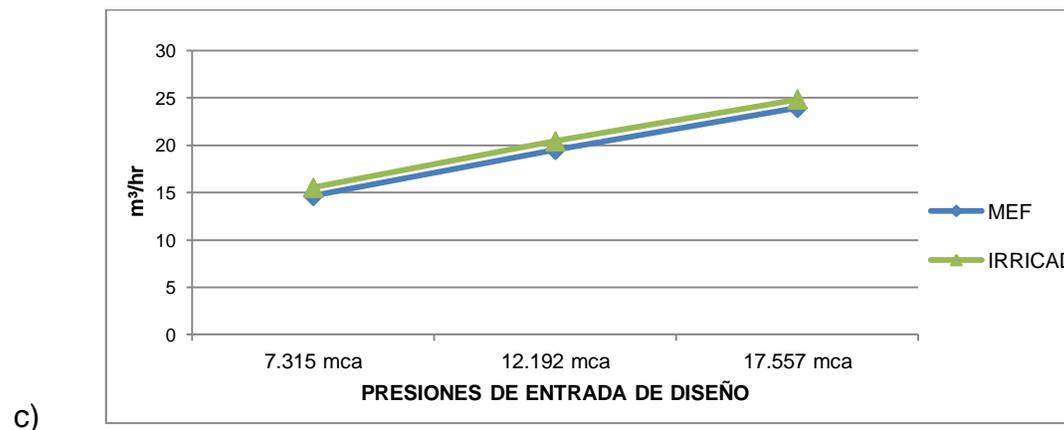
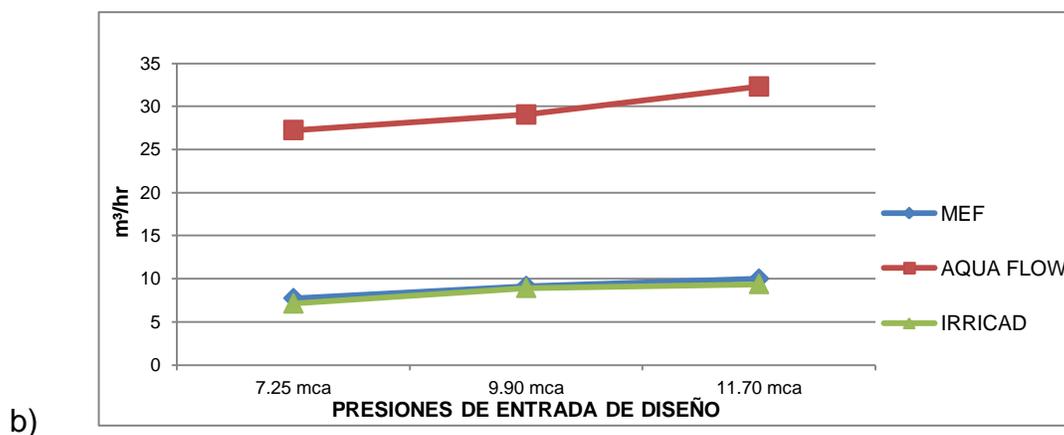
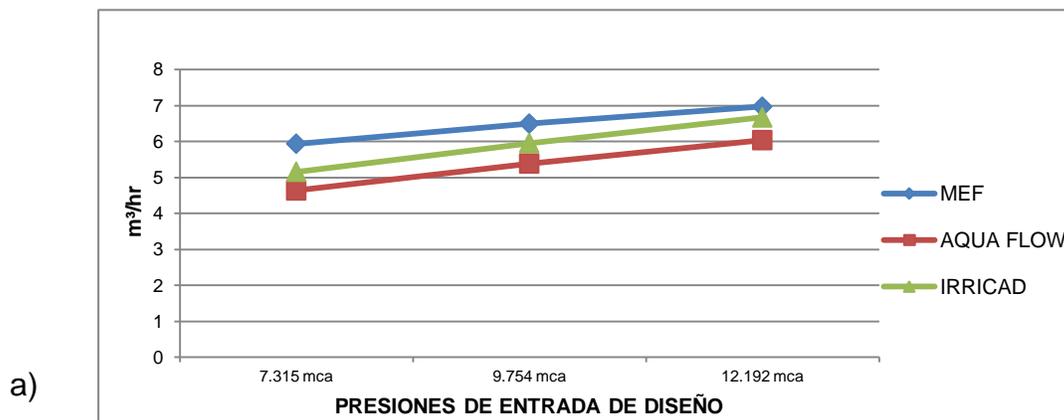


Figura 4.17. a) Comparación del flujo del bloque obtenido para tres diseños de goteo integrado con MEF, Aqua Flow e IRRICAD. b) Comparación del flujo del bloque obtenido para tres diseños de cinta de goteo con MEF, Aqua Flow e IRRICAD. c) Comparación del flujo del bloque obtenido para tres diseños de microaspersión con MEF e IRRICAD.

4.10. Comparación de la Du% de los Diseños de Bloque de Riego por Goteo Integrado, Cinta de Goteo y Microaspersión con MEF e IRRICAD.

En la Figura 4.18. **a)**. Se aprecia la línea de tendencia de la comparación de la Du% para los tres diseños de riego por goteo integrado operados a distintas cargas mínimas cada uno, la Du% solo puede ser evaluada con el MEF e IRRICAD, ya que el Aqua Flow no proporciona los datos necesarios para poder hacer dicha comparación; la Du% obtenida por el MEF es mayor que en IRRICAD y las uniformidades obtenidas en ambos métodos son mayores del 91% para lo cual Karmeli y Keller afirman que son de clasificación excelente, las variaciones entre estas no son significativas de acuerdo con la prueba estadística. **b)**. Se distingue la comparación de las gráficas de la Du% calculada para tres diseños de cinta de goteo con características de diseño iguales, dicha uniformidad solo puede ser evaluada por el MEF e IRRICAD, la diferencia que se presenta en los tres diseños es muy grande, por lo que la prueba estadística demostró diferencias para este parámetro, las uniformidades son mayores de 94% hasta el 98%, para lo cual son de clasificación de buenas a excelentes. **c)**. Se observa la Du% graficada en tres diseños de microaspersión aplicados a distintas cargas mínimas de operación, utilizando el MEF e IRRICAD, el MEF demostró tener mayor uniformidad de campo que el IRRICAD, las uniformidades reportadas por ambos métodos son arriba del 80% pero menores del 90% así que tienen una clasificación buena, aunque estas diferencias no fueron relevantes para la prueba estadística (Apéndice D, E Y F).

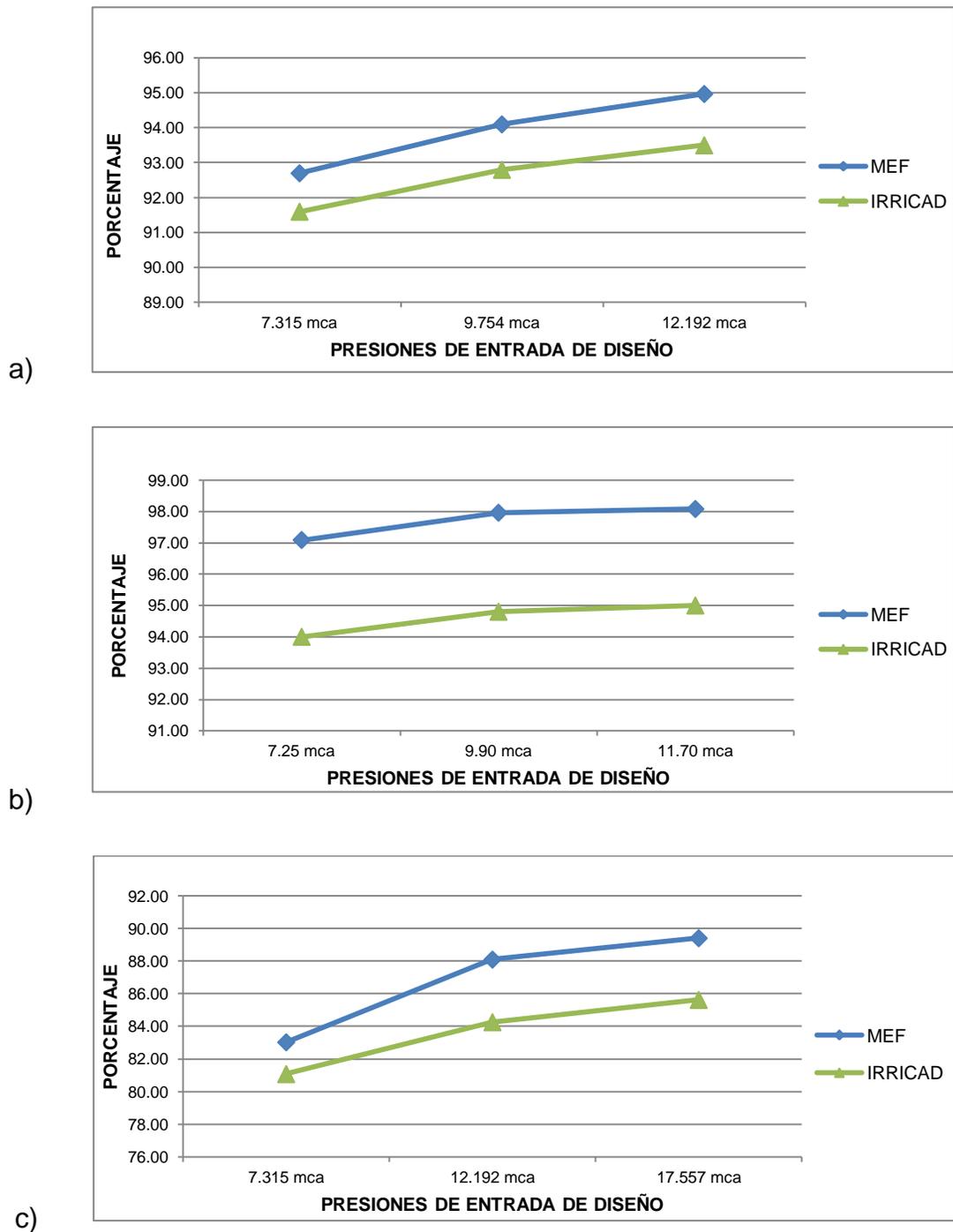
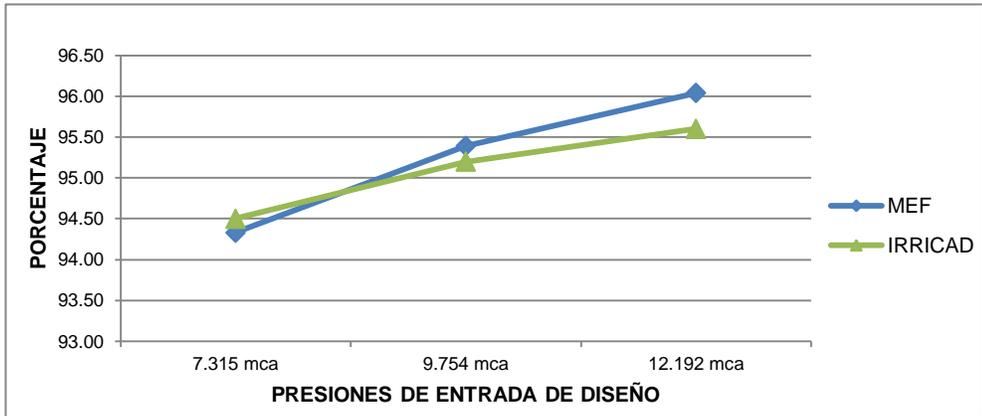


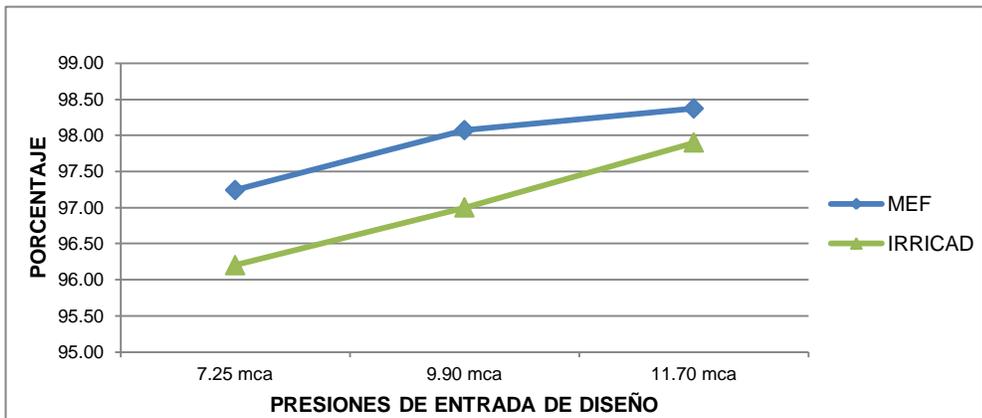
Figura 4.18. a). Comparación de la Du% calculada para tres diseños de goteo integrado con MEF E IRRICAD. b). Comparación de la Du% calculada para tres diseños de cinta de goteo con MEF e IRRICAD. c). Comparación de la Du% calculada para tres diseños de microaspersión con MEF e IRRICAD.

4.11. Comparación del Cu% de los Diseños de Bloque de Riego por Goteo Integrado, Cinta de Goteo y Microaspersión con MEF e IRRICAD.

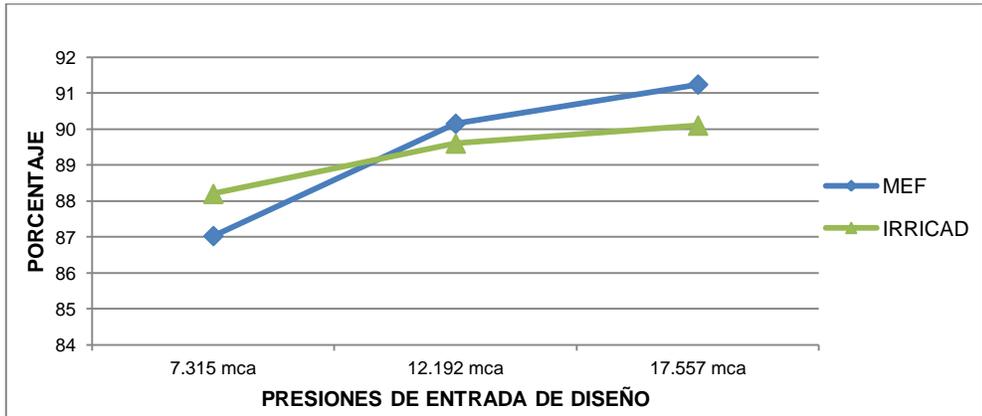
En la Figura 4.19. Se puede apreciar **a)**. La comparación del coeficiente de uniformidad en tres diseños de goteo integrado operado a distintas cargas mínimas de diseño y con las demás características iguales, evaluado con el MEF e IRRICAD, se puede distinguir que para el primer diseño que fue operado con una carga mínima de 7.315 mca, IRRICAD es mayor que el MEF, mientras que en los otros dos diseños operados con 9.754 y 12.192 mca respectivamente, el MEF fue el que mayor Cu% reportó, las uniformidades deducidas por ambos métodos son mayores del 94% por lo que son de clasificación excelente, siendo mediante la prueba estadística que en ambos métodos no existen diferencias. **b)**. Las líneas de tendencia de la comparación del Cu% para tres diseños de cinta de goteo operado con las mismas características, a tres distintas cargas de entrada de diseño, el MEF fue el más sobresaliente en los tres diseños, acercándose más ambos métodos en el tercer diseño con mayor presión (11.70 mca), las uniformidades en ambos métodos están en un rango de 96% al 98%, clasificándose como excelentes y no existen diferencias estadísticas entre los métodos probados. **c)**. La gráfica de comparación del Cu% para tres diseños de microaspersión probados con el MEF e IRRICAD, dichos diseños operados con características de diseño iguales en todo exceptuando la carga mínima de entrada de operación, se aprecia que en el primer diseño IRRICAD consiguió un mejor Cu%, mientras que en los otros dos diseños restantes el MEF alcanzó mejor uniformidad, el Cu% determinado para los tres diseños en ambos casos fueron de 87% al 92% por lo que son de buenas a excelentes, las pruebas estadísticas realizadas demostraron que son estadísticamente iguales los dos métodos (Apéndice D, E Y F).



a)



b)

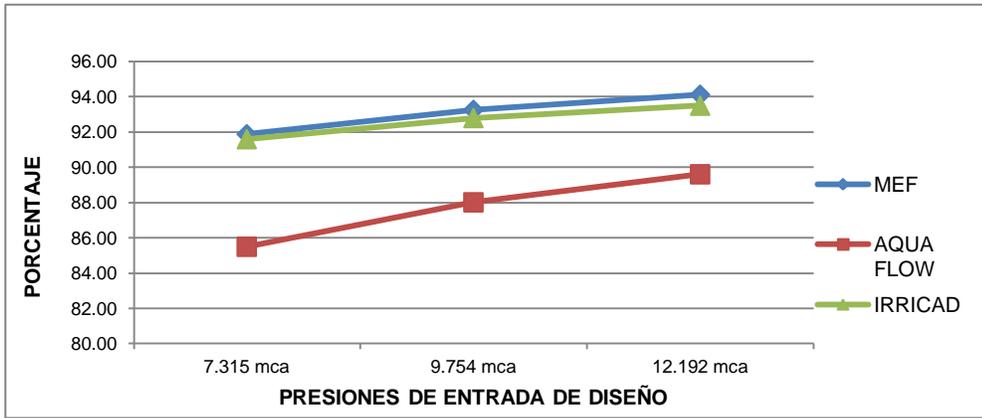


c)

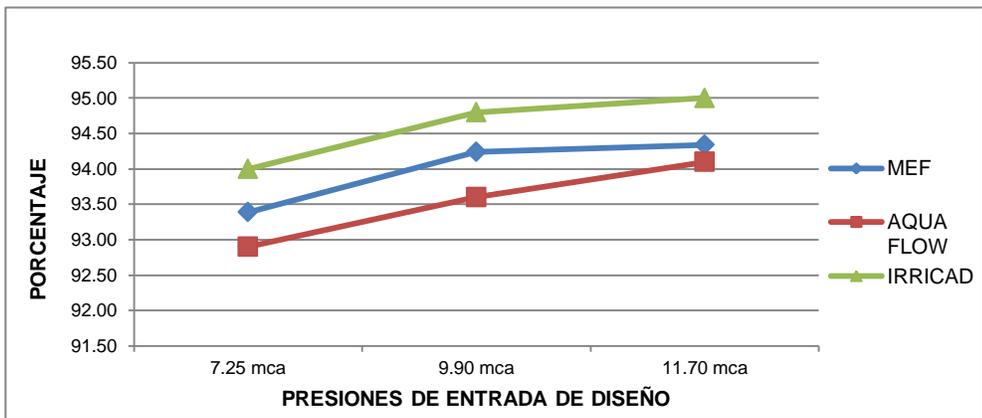
Figura 4.19. a). Comparación del Cu% calculado para tres diseños de goteo integrado con MEF e IRRICAD. b). Comparación del Cu% calculado para tres diseños de cinta de goteo con MEF e IRRICAD. c). Comparación del Cu% calculado para tres diseños de microaspersión con MEF e IRRICAD.

4.12. Comparación de la Eu% de los Diseños de Bloque de Riego por Goteo Integrado, Cinta de Goteo y Microaspersión con MEF, Aqua Flow e IRRICAD.

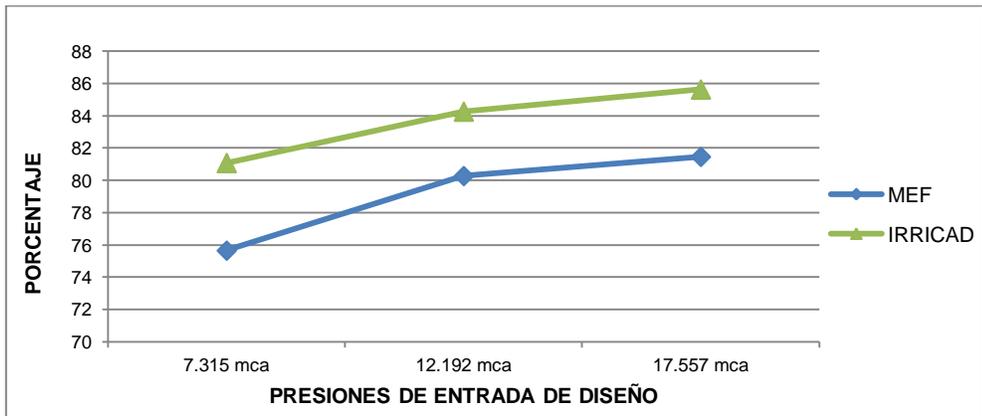
En la Figura 4.20. **a)**. Se observa la gráfica de comparación de la Eu% en tres diseños de riego por goteo integrado, fueron hechos con las mismas características generales de diseño, pero se operó a una presión mínima por cada diseño, estos elaborados con el MEF, Aqua Flow e IRRICAD, en las cuales se aprecia que la uniformidad de emisión más baja es para Aqua Flow, mientras que MEF e IRRICAD son muy cercanos entre sí los valores, no obstante que la variación entre Aqua Flow respecto a los otros dos métodos de diseño es muy amplia la prueba estadística resultó que no existen diferencia significativa, por último la Eu% registrada por los tres métodos de diseño está en un rango del 80% al 95%, para lo cual su clasificación es de buena a excelente. **b)**. Se muestra la comparación de la Eu% calculada para tres diseños de riego con cinta de goteo con características iguales, con tres metodologías (MEF, Aqua Flow e IRRICAD), se puede apreciar que el IRRICAD es el método que reporta mejor uniformidad de emisión, sobre MEF y Aqua Flow respectivamente, mostrando que en el último diseño (11.70 mca) el MEF y Aqua Flow son muy cercanos, las uniformidades registradas por los métodos de diseño están por encima del 80 y 90%, de esta manera se catalogan como de buenas a excelentes, no muestran diferencias significativas. **c)**. Se grafica la comparación del MEF e IRRICAD, para calcular la Eu% en tres diseños de riego por microaspersión, operados a distintas presiones mínimas, en la cual se observa que los dos métodos de diseño siguen la misma tendencia, las Eu% de los diseños con los distintos métodos fueron del rango 75% al 86% de clasificación aceptable a buena, aunque se presenta mejor uniformidad en IRRICAD la prueba estadística no mostró diferencias sustanciales (Apéndice D, E Y F).



a)



b)



c)

Figura 4.20. a). Comparación de la Eu% calculada para tres diseños de goteo integrado con MEF, Aqua Flow e IRRICAD. b). Comparación de la Eu% calculada para tres diseños de cinta de goteo con MEF, Aqua Flow e IRRICAD. c). Comparación de la Eu% calculada para tres diseños de microaspersión con MEF e IRRICAD.

V. CONCLUSIONES

Al aplicar la prueba estadística t student los métodos de diseño (MEF vs IRRICAD, MEF vs Aqua Flow y Aqua Flow vs IRRICAD) se encontró que:

- a) Para el bloque de riego diseñado con manguera de goteo integrado Netafim 16 mm/4 LPH/100 cm, los métodos de diseño no mostraron diferencias significativas en los parámetros hidráulicos calculados, por lo que se concluye que la Hipótesis Nula ($H_0: \%E_{\text{ALGORITMO}} = \%E_{\text{IRRICAD}} = \%E_{\text{AQUA FLOW}}$) se acepta.
- b) Por otra parte al comparar dichos métodos, utilizando cinta de goteo Aqua-Traxx EA5081234, no se encontró diferencia en la Uniformidad de Emisión por lo que la H_0 se acepta, pero a su vez el MEF vs Aqua Flow y Aqua Flow vs IRRICAD demostraron ser distintos en el parámetro del flujo del bloque y el MEF vs IRRICAD indicaron ser diferentes en la Uniformidad de Distribución.
- c) En la comparación del bloque de riego diseñado con manguera de polietileno 19 mm \varnothing con microaspersores Naandanjain base naranja boquilla 1.5 mm el MEF vs IRRICAD no mostró diferencias de esta manera se indica que se acepta la H_0 .

En IRRICAD y MEF se permite diseñar bloques de cualquier tamaño y forma, con pendientes reales en campo, mientras que en Aqua Flow el diseño se limita sólo a bloque rectangular y solo acepta pendientes ascendentes o descendentes, además Aqua Flow sólo evalúa $E_u\%$ pero no evalúa $C_u\%$ y $D_u\%$.

El MEF permite hacer evaluaciones con parámetros observados en campo, así que admite utilizar equipos de riego ya utilizados anteriormente.

El software IRRICAD demostró ser el método más rápido y preciso para analizar el funcionamiento hidráulico del bloque de riego y cálculo de la uniformidad de emisión.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Armoni, S. 1989. *Riego por Microaspersión*. (1ª ed.). España.
- Arteaga, R. 1993. *Hidráulica Elemental*. UACH. (1ª ed.) Departamento de Irrigación. Chapingo. México. Dirección de Difusión Cultural.
- Balogh, J. y Gergely I. 1985. *Basic Aspects of Trickling Irrigation*. (1ª ed.). Budapest: Fischer Tibor.
- Bratls, V., Wu I. y Gitlin H. 1981. Manufacturing variation and drip irrigation uniformity: *Transactions ASAE*, 2(24), 113-119.
- Bralts V., Edwards D. y Wu I. 1987. Drip irrigation design and evaluation based on the statistical uniformity concept en Hillel D: *Advances in Irrigation*, 4, 67-117, Academic Press. New York.
- Burt, C. 1995. *The Surface Irrigation Manual. A Comprehensive Guide to Design and Operation of Surface Irrigation Systems*. Waterman industries Publication. Pp. 311.
- Celigüeta T. 2011. *Método de los Elementos Finitos para Análisis Estructural*. (4ª ed.). España. Imprenta UNICOPIA C.B
- Fernández, R. 2010. Módulo 4. *Riego localizado: manual y ejercicios*. Sevilla. Consejería de Agricultura y Pesca.
- García I. G. y Briones G. 1986. *Diseño y Evaluación de Sistemas de Riego por Aspersión y Goteo*. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Gurovich R. y L.A. 1999. *Riego Superficial Tecnificado*. (2ª ed.). Universidad Católica de Chile. Editorial Alfaomega.
- Karmeli y Keller, J.. 1974. *Trickle irrigation design*. Rainbird Sprinkler Manufacturing Corporation

Loboa, J. et al. 2011. *Evaluación del coeficiente de uniformidad en cuatro emisores de riego usando filtración gruesa de flujo ascendente en capas*. Revista EIA, ISSN 1794-1237. Número 16, p. 29-41. Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín, Colombia.

López, J., Hernández, Pérez y González. 1992. *Riego Localizado*. Madrid. Ediciones Mundi Prensa.

López, J. R. et al. 1999. *Riego Localizado*. IRYDA. Ediciones Mundi-Prensa.

Liotta M. 2000. *Superficie con riego presurizado en la Provincia de San Juan INTA*. Argentina.

Matta, C. 1998. *Instalación, Manejo y Mantenimiento de Sistemas de Riego Presurizado*. Universidad de Concepción. Facultad de Ingeniería Agrícola. Departamento de Riego y Drenaje. México.

Medina, J. 1979. *Riego por goteo: Teoría y Práctica*. España. Ediciones Mundi-Prensa.

Medina, J. 1981. *Riego por goteo*. España. Ediciones Mundi-Prensa.

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

Nakayama, F. S. y Bucks D. A. 1986. *Trickle irrigation for Crop Production: Design, operation and management*. Netherlands. Elsevier Science Publishers B. V.

Pizarro, F. 1996. *Riegos Localizados de Alta Frecuencia: Goteo, microaspersión, exudación*. Madrid. Mundi-Prensa.

Quinzá, E. y Martínez, J. 1993. *Riego Localizado. Diseño Hidráulico. Curso Internacional de técnicas de riego y gestión del regadío*.

Sietan, C. y Ali, G. 2004. *Uniformity in a micro irrigation with partially clogged emitters*, ASAE Paper No.032097, St. Joseph, Michigan. ASAE.12.4, USA.

Tarjuelo, J. M. 1999. *El riego por aspersión y su tecnología*. (2ª ed.). Madrid, España. Ediciones Mundi-prensa.

PÁGINAS CONSULTADAS

IRRICAD Pro - Irrigation Software. Lincoln Agritech 2012. *Irricad Irrigation design Software*. Lincoln University New Zealand, de Recuperado el 12 Agosto 6:10 pm de <http://www.irricad.com/irricadpro/irricad-pro-version>.

Orellana, S. (2012). *Software de Hidráulica de Tuberías para diseño de riego por aspersión*. Pontificia Universidad Católica de Chile Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. Recuperado el 13 de Agosto del 2013 5:25 pm de <https://sites.google.com/site/softwareaspersion/software-3>

Ayuda, Programa Toro Aqua Flow 3.2. Recuperado el 13 agosto 10:57 am de <http://www.toro.com/es-mx/Pages/default.aspx>

Nelson, Irrigation, Agricultura. Recuperado el 27 de Septiembre del 2013 10:27 pm de <http://www.nelsonirrigation.com>

Montero, J. Recomendaciones para un adecuado diseño y manejo de los sistemas de riego por aspersión. Recuperado el 25 de Agosto del 2013 9:38 am de <http://4w.cajaduero.es/agro/public/remolacha/Riego2.htm>.

Open course Ware. Universidad de Sevilla. Recuperado el 8 de Noviembre 6:48 pm de http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%2010.Riego%20goteo/tutorial_04.htm.

Open course Ware. Universidad de Sevilla. Recuperado el 8 de Noviembre 7:56 pm de http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%2010.Riego%20goteo/tutorial_02.htm.

Componentes del Riego Localizado. Recuperado el 19 de Agosto del 2013 5:38 pm <http://info.elriego.com/portfolios/introduccion-componentes-de-riego-localizado/>.

Agricultura: Riego Artificial. Recuperado el 5 de Octubre del 2013 2:16 pm de http://www.oni.escuelas.edu.ar/2003/ENTRE_RIOS/26/sisriego/Microasp.htm

Rain Bird. Recuperado el 3 noviembre del 2013 9:47 pm de http://www.rainbird.com/documents/ag/L387_DistributionUniformity_es.pdf

Método de los Elementos finitos. Recuperado el 15 de Octubre del 2013 4:35 pm. De http://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9todo_de_los_elementos_finitos

VII. APENDICES

APÉNDICE A

PROPIEDADES DE LOS ELEMENTOS PARA EL ANÁLISIS DE LA LINEA REGANTE UTILIZANDO EL MÉTODO DEL ELEMENTO FINITO

Diámetro Real Interno de la Manguera, ID Ø en mm	13
Espaciado de los Emisores, Se en m	1
Número de Emisores por Planta	10
Factor C de Hazen para la Manguera	140
Coeficiente de Fricción KØ, para Hazen-Williams	4.822276657
Exponente de Carga para el Emisor, x	0.3904
Coeficiente de Gasto Unitario para el Emisor, K	1.5294
Variación de Manufactura, v en %	3.5
Filtración Requerida del Agua, mesh	150
Longitud de la Manguera, L en m	81
Gasto de Entrada a la Regante, LPH	360
Carga de Entrada a la Regante, en m	12.192
Carga al Final de la Regante, en m	

ANÁLISIS DEL GRADIENTE HIDRÁULICO DE UNA LINEA REGANTE DE MANGUERA DE GOTEO INTEGRADO NETAFIM 16 mm/ 4 LPH/ 100 cm

40 PIES DE CARGA (12.192 MCA)

# GOTERO	Q ENTRADA (LPS)	PERDIDAS DE CARGA hf (METROS)	q CALCULADO (LPH)	CARGA (METROS)	COTA TOPOGRÁFICA (METROS)
0	0.100			12.192	100.000
1	0.099	0.068	4.048	12.104	100.020

2	0.098	0.066	4.040	12.044	100.014
3	0.097	0.065	4.032	11.985	100.008
4	0.096	0.064	4.025	11.927	100.002
5	0.094	0.062	4.017	11.871	99.996
6	0.093	0.061	4.010	11.816	99.990
7	0.092	0.060	4.003	11.762	99.984
8	0.091	0.058	3.996	11.710	99.978
9	0.090	0.057	3.989	11.659	99.972
10	0.089	0.056	3.982	11.605	99.970
11	0.088	0.054	3.981	11.597	99.924
12	0.087	0.053	3.980	11.590	99.878
13	0.086	0.052	3.979	11.584	99.832
14	0.084	0.051	3.979	11.579	99.786
15	0.083	0.050	3.978	11.575	99.740
16	0.082	0.048	3.978	11.573	99.694
17	0.081	0.047	3.978	11.572	99.648
18	0.080	0.046	3.978	11.572	99.602
19	0.079	0.045	3.978	11.573	99.556
20	0.078	0.044	3.978	11.575	99.510
21	0.077	0.043	3.970	11.514	99.529
22	0.076	0.041	3.962	11.453	99.548
23	0.074	0.040	3.954	11.394	99.567
24	0.073	0.039	3.946	11.335	99.586
25	0.072	0.038	3.938	11.278	99.605
26	0.071	0.037	3.930	11.222	99.624
27	0.070	0.036	3.923	11.167	99.643
28	0.069	0.035	3.915	11.113	99.662

29	0.068	0.034	3.908	11.060	99.681
30	0.067	0.033	3.901	11.007	99.700
31	0.066	0.032	3.896	10.976	99.699
32	0.065	0.031	3.892	10.946	99.698
33	0.064	0.030	3.888	10.917	99.697
34	0.063	0.029	3.884	10.888	99.696
35	0.061	0.028	3.880	10.861	99.695
36	0.060	0.028	3.877	10.834	99.694
37	0.059	0.027	3.873	10.809	99.693
38	0.058	0.026	3.870	10.784	99.692
39	0.057	0.025	3.866	10.760	99.691
40	0.056	0.024	3.863	10.737	99.690
41	0.055	0.023	3.857	10.695	99.709
42	0.054	0.022	3.851	10.653	99.728
43	0.053	0.022	3.846	10.613	99.747
44	0.052	0.021	3.840	10.573	99.766
45	0.051	0.020	3.834	10.534	99.785
46	0.050	0.019	3.829	10.495	99.804
47	0.049	0.019	3.824	10.458	99.823
48	0.048	0.018	3.818	10.421	99.842
49	0.047	0.017	3.813	10.385	99.861
50	0.045	0.016	3.808	10.350	99.880
51	0.044	0.016	3.799	10.284	99.930
52	0.043	0.015	3.789	10.219	99.980
53	0.042	0.014	3.780	10.154	100.030
54	0.041	0.014	3.771	10.091	100.080
55	0.040	0.013	3.761	10.027	100.130

56	0.039	0.013	3.752	9.965	100.180
57	0.038	0.012	3.743	9.903	100.230
58	0.037	0.011	3.734	9.842	100.280
59	0.036	0.011	3.725	9.781	100.330
60	0.035	0.010	3.716	9.720	100.380
61	0.034	0.010	3.711	9.689	100.402
62	0.033	0.009	3.707	9.658	100.424
63	0.032	0.009	3.702	9.627	100.446
64	0.031	0.008	3.697	9.597	100.468
65	0.030	0.008	3.693	9.567	100.490
66	0.029	0.007	3.689	9.538	100.512
67	0.028	0.007	3.684	9.509	100.534
68	0.027	0.006	3.680	9.481	100.556
69	0.026	0.006	3.676	9.453	100.578
70	0.025	0.006	3.671	9.425	100.600
71	0.024	0.005	3.660	9.348	100.672
72	0.023	0.005	3.648	9.271	100.744
73	0.022	0.004	3.636	9.195	100.816
74	0.021	0.004	3.624	9.119	100.888
75	0.020	0.004	3.613	9.043	100.960
76	0.019	0.003	3.601	8.968	101.032
77	0.018	0.003	3.589	8.893	101.104
78	0.017	0.003	3.577	8.818	101.176
79	0.016	0.002	3.565	8.744	101.248
80	0.015	0.002	3.554	8.670	101.320
81	0.014	0.002	3.541	8.590	101.398

APÉNDICE B

PROPIEDADES DE LOS ELEMENTOS PARA EL ANÁLISIS DE LA LINEA DISTRIBUIDORA UTILIZANDO EL MÉTODO DEL ELEMETO FINITO

Diámetro Real Interno de la Tubería, ID Ø en mm	43.7
Espaciado de las Líneas Regantes, SI en m	10
Factor C de Hazen para la Tubería	150
Coeficiente de Fricción KØ, para Hazen-Williams	0.011574966973
Exponente de Carga para el Medidor, x	0.3209
Coeficiente de Gasto Unitario para el Medidor, K	153.5564
Filtración Requerida del Agua, mesh	140
Longitud de la Tubería Distribuidora, L en m	200
Carga de Entrada de la Regante, en m	12.192
Carga al Final de la Regante, en m	0
Variación de Carga Permitida, ΔHs en m	2.438

BLOQUE DE RIEGO DE GOTEO INTEGRADO CON UNA LINEA DISTRIBUIDORA DE TUBERÍA DE PVC 1 1/2" Ø-RD 21- 14 Kg/cm²

NO DE LATERAL	Qi GASTO DE LA TUBERIA DISTRIBUIDORA (LPH)	Q GASTO DE LA REGANTE (LPH)	PERDIDA DE CARGA EN LA TUBERÍA DISTRIBUIDORA <i>hfi</i> (METROS)	CARGA DE ENTRADA A LA REGANTE <i>Hi</i> (METROS)
VÁLVULA	6501.992	340.904	0.035	12.003
1	6161.404	340.588	0.313	11.968
2	5823.702	337.702	0.282	11.655
3	5488.645	335.057	0.253	11.373
4	5155.996	332.649	0.225	11.120
5	4825.523	330.473	0.199	10.895

6	4497.001	328.522	0.175	10.696
7	4170.212	326.789	0.152	10.521
8	3844.945	325.267	0.131	10.369
9	3521.000	323.945	0.111	10.238
10	3198.187	322.813	0.093	10.127
11	2876.328	321.859	0.076	10.034
12	2555.258	321.070	0.061	9.958
13	2234.824	320.434	0.048	9.896
14	1914.887	319.936	0.036	9.848
15	1595.327	319.561	0.026	9.813
16	1276.034	319.292	0.017	9.787
17	956.919	319.115	0.010	9.770
18	637.909	319.011	0.005	9.760
19	318.948	318.961	0.001	9.755
20	0	318.948	0	9.754

APÉNDICE C

Ejemplo de reportes de IRRICAD para microaspersión

Irricad Version 11.1		Zone Design Report	
Company : UAAAN	Designer : PERLA YAZMIN DE LA C		
Client : VARIOS	Design Date : 12/11/2013		
Site : SALTILLO, COAHUILA	Report Date: 14/11/2013 05:56:35		
Notes :			
Filename : BLOQUE DE RIEGO MICROASP			
Zone Name : BLOQUEMICROASPE		Valve Description : Nelson 7972 2" Globe Valve	
Zone Head (D/S) : 21.39 (m)	Zone Head (U/S) : 23.45 (m)		
Total Zone Flow : 20.44 (m3/h)	Valve Headloss : 2.07 (m)		
	Allowable Flow (lpm)	Actual Flow (lpm)	Allowable Pressure (m)
Minimum Outlet	1.62	1.30 ***	11.08
Maximum Outlet	1.79	2.25 ***	13.35
Outlet Variation (%)	9.52	41.97 ***	17.00
Coefficient of variation = 0.000	Mean Emitter Flow =	1.68	No. of Emitters per Plant = 1
Cu = 89.6(%)	Eu = 84.26(%)	Du =	84.26(%)
Outlet Locations (X,Y)	Minimum: 175.0, 6.0	Maximum: 5.0, 96.0	

APÉNDICE D

Resultados de la prueba estadística t Student

PRUEBA t STUDENT PARA LAS PRESIONES GOTEIO INTEGRADO		
	ELEMENTO FINITO	IRRICAD
P MAX 1	9.214	10.89
P MIN 1	7.315	5.470
P MAX 2	12.003	14.14
P MIN 2	9.754	7.560
P MAX 3	14.756	17.35
P MIN 3	12.192	9.670
MEDIAS	10.87	10.85
n=	6	6
gl=	5	5
PRUEBA t	0.990418	
t CALCU	0.012313	
t TABLAS	2.633767	
DECISIÓN	SE ACEPTAN	

PRUEBA t STUDENT PARA LOS FLUJOS DEL BLOQUE GOTEO INTEGRADO		
	ELEMENTO FINITO	IRRICAD
Q BLOQUE 1	5.94	5.16
Q BLOQUE 2	6.5	5.96
Q BLOQUE 3	6.97	6.67
MEDIAS	6.47	5.93
n=	3	3
gl=	2	2
PRUEBA t	0.371376	
t CALCU	1.005898	
t TABLAS	3.495406	
DECISION	SE ACEPTAN	

PRUEBA t STUDENT PARA Du% GOTEO INTEGRADO		
	ELEMENTO FINITO	IRRICAD
Du%	92.70	91.60
Du%	94.10	92.8
Du%	94.97	93.5
MEDIAS	93.92	92.63
n=	3	3
gl=	2	2
PRUEBA t	0.211429	
t CALCU	1.486162	
t TABLAS	3.495406	
DESICIÓN	SE ACEPTAN	

PRUEBA t STUDENT PARA Cu% GOTEO INTEGRADO		
	ELEMENTO FINITO	IRRICAD
Cu%	94.33	94.50
Cu%	95.39	95.2
Cu%	96.04	95.6
MEDIAS	95.25	95.10
n=	3	3
gl=	2	2
PRUEBA t	0.810775	
t CALCU	0.255725	
t TABLAS	3.495406	
DESICIÓN	SE ACEPTAN	

PRUEBA t STUDENT PARA Eu% GOTEO INTEGRADO		
	ELEMENTO FINITO	IRRICAD
Eu%	91.88	91.6
Eu%	93.26	92.8
Eu%	94.12	93.5
MEDIAS	93.09	92.63
n=	3	3
gl=	2	2
PRUEBA t	0.625264	
t CALCU	0.528268	
t TABLAS	3.495406	
DECISIÓN	SE ACEPTA Ho	

PRUEBA t STUDENT PARA LAS PRESIONES GOTEO INTEGRADO		
ELEMENTO FINITO	AQUA FLOW	
P MAX 1	9.214	10
P MIN 1	7.315	7.3
P MAX 2	12.003	13
P MIN 2	9.754	10.1
P MAX 3	14.756	16
P MIN 3	12.192	12.8
MEDIAS	10.87	11.53
n=	6	6
gl=	5	5
PRUEBA t	0.695741	
t CALCU	0.402563	
t TABLAS	2.633767	
DESICIÓN	SE ACEPTAN	

PRUEBA t STUDENT PARA LOS FLUJOS DEL BLOQUE GOTEO INTEGRADO		
	ELEMENTO FINITO	AQUA FLOW
Q BLOQUE 1	5.94	4.64
Q BLOQUE 2	6.5	5.39
Q BLOQUE 3	6.97	6.04
MEDIAS	6.47	5.36
n=	3	3
gl=	2	2
PRUEBA t	0.096909	
t CALCU	2.159815	
t TABLAS	3.495406	
DESICIÓN	SE ACEPTAN	

PRUEBA t STUDENT PARA Eu% GOTEO INTEGRADO		
	ELEMENTO FINITO	AQUA FLOW
Eu%	91.88	85.5
Eu%	93.26	88.02
Eu%	94.12	89.61
MEDIAS	93.09	87.71
n=	3	3
gl=	2	2
PRUEBA t	0.027460	
t CALCU	3.392749	
t TABLAS	3.495406	
DECISIÓN	SE ACEPTA Ho	

PRUEBA t STUDENT PARA LAS PRESIONES GOTEO INTEGRADO		
	AQUA FLOW	IRRICAD
P MAX 1	10	10.89
P MIN 1	7.3	5.470
P MAX 2	13	14.14
P MIN 2	10.1	7.560
P MAX 3	16	17.35
P MIN 3	12.8	9.670
MEDIAS	11.53	10.85
n=	6	6
gl=	5	5
PRUEBA t	0.758108	
t CALCU	0.316531	
t TABLAS	2.633767	
DESICIÓN	SE ACEPTAN	

PRUEBA t STUDENT PARA LOS FLUJOS DEL BLOQUE GOTEO INTEGRADO

	AQUA FLOW	IRRICAD
Q BLOQUE 1	4.64	5.16
Q BLOQUE 2	5.39	5.96
Q BLOQUE 3	6.04	6.67
MEDIAS	5.36	5.93
n=	3	3
gl=	2	2
PRUEBA t	0.389999	
t CALCU	0.963185	
t TABLAS	3.495406	
DESICIÓN	SE ACEPTAN	

PRUEBA t STUDENT PARA Eu% GOTEO INTEGRADO		
	AQUA FLOW	IRRICAD
Eu%	85.5	91.6
Eu%	88.02	92.8
Eu%	89.61	93.5
MEDIAS	87.71	92.63
n=	3	3
gl=	2	2
PRUEBA t	0.037176	
t CALCU	3.073232	
t TABLAS	3.495406	
DECISIÓN	SE ACEPTA Ho	

APÉNDICE E

PRUEBA t STUDENT PARA LAS PRESIONES CINTA DE GOTEO		
	ELEMENTO FINITO	IRRICAD
P MAX 1	7	5.00
P MIN 1	7.25	2.3
P MAX 2	10	7
P MIN 2	9.9	3.7
P MAX 3	12.02	10
P MIN 3	11.70	4.8
MEDIAS	7.70	5.47
n=	6	6
gl=	5	5
PRUEBA t	0.029092	
t CALCU	2.545408	
t TABLAS	2.633767	
DECISIÓN	SE ACEPTAN	

PRUEBA t STUDENT PARA LOS FLUJOS DEL BLOQUE CINTA DE GOTEO		
	ELEMENTO FINITO	IRRICAD
Q BLOQUE 1	7.74	7.12
Q BLOQUE 2	9.15	8.93
Q BLOQUE 3	10.00	9.38
MEDIAS	8.96	8.48
n=	3	3
gl=	2	2
PRUEBA t	0.637097	
t CALCU	0.509699	
t TABLAS	3.495406	
DECISIÓN	SE ACEPTAN	

PRUEBA t STUDENT PARA Du% CINTA DE GOTEO		
	ELEMENTO FINITO	IRRICAD
Du%	97.09	94.00
Du%	97.96	94.80
Du%	98.08	95.00
MEDIAS	97.71	94.60
n=	3	3
gl=	2	2
PRUEBA t	0.002057	
t CALCU	7.119861	
t TABLAS	3.495406	
DESICIÓN	SE RECHAZAN	

PRUEBA t STUDENT PARA Cu% CINTA DE GOTEO

	ELEMENTO FINITO	IRRICAD
Cu%	97.24	96.20
Cu%	98.07	97.00
Cu%	98.37	97.90
MEDIAS	97.89	97.03
n=	3	3
gl=	2	2
PRUEBA t	0.231204	
t CALCULO	1.410530	
t TABLAS	3.495406	
DECISIÓN	SE ACEPTAN	

PRUEBA t STUDENT PARA Eu% CINTA DE GOTEO		
	ELEMENTO FINITO	IRRICAD
Eu%	93.39	94.00
Eu%	94.24	94.80
Eu%	94.34	95.00
MEDIAS	93.99	94.60
n=	3	3
gl=	2	2
PRUEBA t	0.228257	
t CALCU	1.421380	
t TABLAS	3.495406	
DECISIÓN	SE ACEPTA Ho	

PRUEBA t STUDENT PARA LAS PRESIONES CINTA DE GOTEO		
	ELEMENTO FINITO	AQUA FLOW
P MAX 1	7	7.14
P MIN 1	7.25	6
P MAX 2	10	8.16
P MIN 2	9.9	7.5
P MAX 3	12.02	10.2
P MIN 3	11.7	9
MEDIAS	9.65	8.00
n=	6	6
gl=	5	5
PRUEBA t	0.155188	
t CALCU	1.537500	
t TABLAS	2.633767	
DESICIÓN	SE ACEPTAN	

PRUEBA t STUDENT PARA LOS FLUJOS DEL BLOQUE CINTA DE GOTEO		
	ELEMENTO FINITO	AQUA FLOW
Q BLOQUE 1	7.74	27.25
Q BLOQUE 2	9.15	29.05
Q BLOQUE 3	10.00	32.3
MEDIAS	8.96	29.53
n=	3	3
gl=	2	2
PRUEBA t	0.001555	
t CALCU	7.668344	
t TABLAS	3.495406	
DESICIÓN	SE RECHAZAN	

PRUEBA t STUDENT PARA Eu% CINTA DE GOTEO		
	ELEMENTO FINITO	AQUA FLOW
Eu%	93.39	92.9
Eu%	94.24	93.6
Eu%	94.34	94.1
MEDIAS	93.99	93.53
n=	3	3
gl=	2	2
PRUEBA t	0.378437	
t CALCU	0.989491	
t TABLAS	3.495406	
DECISIÓN	SE ACEPTA Ho	

PRUEBA t STUDENT PARA LAS PRESIONES CINTA DE GOTEO		
	AQUA FLOW	IRRICAD
P MAX 1	7.14	5.00
P MIN 1	6	2.3
P MAX 2	8.16	7
P MIN 2	7.5	3.7
P MAX 3	10.2	10
P MIN 3	9	4.8
MEDIAS	8.00	5.47
n=	6	6
gl=	5	5
PRUEBA t	0.080347	
t CALCU	1.945485	
t TABLAS	2.633767	
DESICIÓN	SE ACEPTAN	

PRUEBA t STUDENT PARA LOS FLUJOS DE BLOQUE CINTA DE GOTEO		
	AQUA FLOW	IRRICAD
Q BLOQUE 1	27.25	7.12
Q BLOQUE 2	29.05	8.93
Q BLOQUE 3	32.3	9.38
MEDIAS	29.53	8.48
n=	3	3
gl=	2	2
PRUEBA t	0.001326	
t CALCU	7.996088	
t TABLAS	3.495406	
DESICIÓN	SE RECHAZAN	

PRUEBA t STUDENT PARA Eu% CINTA DE GOTEO		
	AQUA FLOW	IRRICAD
Eu%	92.9	94.00
Eu%	93.6	94.80
Eu%	94.1	95.00
MEDIAS	93.53	94.60
n=	3	3
gl=	2	2
PRUEBA t	0.083737	
t CALCU	2.291302	
t TABLAS	3.495406	
DECISIÓN	SE ACEPTA Ho	

APÉNDICE F

PRUEBA t STUDENT PARA LAS PRESIONES MICROASPERSIÓN		
	ELEMENTO FINITO	IRRICAD
P MAX 1	10.637	14.63
P MIN 1	7.315	3.90
P MAX 2	17.834	23.45
P MIN 2	12.192	7.41
P MAX 3	25.792	33.21
P MIN 3	17.557	11.28
MEDIAS	15.22	15.65
n=	6	6
gl=	5	5
PRUEBA t	0.936775	
t CALCU	0.081342	
t TABLAS	2.633767	
DECISIÓN	SE ACEPTAN	

PRUEBA t STUDENT PARA LOS FLUJOS DEL BLOQUE MICROASPERSIÓN		
	ELEMENTO FINITO	IRRICAD
Q BLOQUE 1	14.67	15.53
Q BLOQUE 2	19.54	20.44
Q BLOQUE 3	23.97	24.86
MEDIAS	19.39	20.28
n=	3	3
gl=	2	2
PRUEBA t	0.827789	
t CALCU	0.232186	
t TABLAS	3.495406	
DECISIÓN	SE ACEPTAN	

PRUEBA t STUDENT PARA Du% MICROASPERSIÓN		
	ELEMENTO FINITO	IRRICAD
Du%	83.03	81.08
Du%	88.10	84.26
Du%	89.41	85.63
MEDIAS	86.85	83.66
n=	3	3
gl=	2	2
PRUEBA t	0.257055	
t CALCU	1.320831	
t TABLAS	3.495406	
DESICIÓN	SE ACEPTAN	

PRUEBA t STUDENT PARA Cu% MICROASPERSIÓN		
	ELEMENTO FINITO	IRRICAD
Cu%	87.03	88.2
Cu%	90.15	89.6
Cu%	91.24	90.10
MEDIAS	89.47	89.30
n=	3	3
gl=	2	2
PRUEBA t	0.908817	
t CALCU	0.121954	
t TABLAS	3.495406	
DESICIÓN	SE ACEPTAN	

PRUEBA t STUDENT PARA Eu% MICROASPERSIÓN		
	ELEMENTO FINITO	IRRICAD
Eu%	75.65	81.08
Eu%	80.27	84.26
Eu%	81.46	85.63
MEDIAS	79.13	83.66
n=	3	3
gl=	2	2
PRUEBA t	0.116587	
t CALCU	1.996457	
t TABLAS	3.495406	
DECISIÓN	SE ACEPTA Ho	