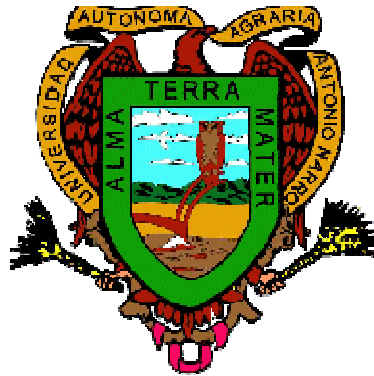


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**DESARROLLO DE METODOLOGÍAS PARA DISEÑO HIDRÁULICO DE UNA
SECCIÓN DE RIEGO LOCALIZADO.**

POR

OSMAR NARVÁEZ BARRAGÁN

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA

OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

MARZO DE 2010

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DESARROLLO DE METODOLOGÍAS PARA DISEÑO HIDRÁULICO DE UNA SECCIÓN DE RIEGO LOCALIZADO. TESIS DEL C. OSMAR NARVÁEZ BARRAGÁN QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ PARTICULAR DE ASESORÍA, COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN.

ASESOR PRINCIPAL:


M.C. JOSÉ GUADALUPE GONZÁLEZ QUIRINO

ASESOR:


Ph. D. VICENTE DE PAUL ALVAREZ REYNA

ASESOR


M.C. EDGARDO CERVANTES ALVAREZ

ASESOR


ING. MA. DE LOURDES ORTÍZ PÉREZ


DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División de Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA

MARZO DE 2011

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DESARROLLO DE METODOLOGÍAS PARA DISEÑO HIDRÁULICO DE UNA SECCIÓN DE RIEGO LOCALIZADO. TESIS DEL C. OSMAR NARVÁEZ BARRAGÁN QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR, COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN.


PRESIDENTE:


M.C. JOSÉ GUADALUPE GONZÁLEZ QUIRINO

VOCAL:


Ph. D. VICENTE DE PAUL ALVAREZ REYNA

VOCAL:


M.C. EDGARDO CERVANTES ALVAREZ

VOCAL:


M.C. J. ISABEL MÁRQUEZ MENDOZA


DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División de Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA

MARZO DE 2011

DEDICATORIAS.

A mis padres:

IGNACIA BARRAGÁN CRESPO

JUSTINO NARVÁEZ CARMONA

Con mucho amor y agradecimiento, por haberme dado la existencia, amor, confianza y la oportunidad de alcanzar mis metas y compartirlas juntos, porque con su ejemplo me han guiado con rectitud, honestidad e inducido a la superación personal. Por estas y tantas cosas...

A mis hermanos:

MONSERRAT NARVÁEZ BARRAGÁN

GERMAIN NARVÁEZ BARRAGÁN

Por ser mis mejores amigos, por los momentos inolvidables, las alegrías, tristezas, triunfos y fracasos que hemos compartido juntos. Gracias por brindarme su apoyo incondicional en todo momento.

AGRADECIMIENTOS.

A Dios por darme la vida, la salud, la oportunidad de terminar mis estudios profesionales y permitirme entender una pequeña porción de la ingeniería, gracias porque con tu ayuda todo es posible.

A todas las personas que integran la UAAAN, que hacen posible la formación de profesionistas, gracias por haberme transmitido parte de sus conocimientos y experiencias en el campo de la agronomía, muy en especial a todos los profesores que integran el departamento de Riego y Drenaje.

Al M.C. J. Guadalupe González Quirino por darme la oportunidad de realizar la presente investigación bajo su asesoría, por su orientación, revisión de la misma y su amistad.

Al Ph. D. Vicente de Paul Alvarez Reyna, por su importante colaboración, apoyo, disponibilidad, participación en la revisión de este proyecto y sobre todo por su amistad.

Al M.C. Edgardo Cervantes, por su participación en la revisión de este documento.

A la Ing. María de Lourdes Ortiz Pérez, por su participación en la revisión de la presente investigación.

Al M.C. Carlos E. Ramírez Contreras, mis más sinceros agradecimientos por haberme transmitido sus conocimientos y por su apoyo incondicional.

Al Ing. Jesús Pliego, por su participación en la parte experimental de este proyecto.

A mis amigos Rey Gervasio Vega, Pedro Mendoza García, Joel Becerra García, Isai Hernández Alvarado y compañeros de generación, por haber compartido momentos divertidos e inolvidables, gracias por brindarme su amistad.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	I
DEDICATORIAS.....	II
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	III
INDICE DE FIGURAS.....	V
ÍNDICE DE CUADROS.....	VI
RESUMEN.....	VII
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	2
III. HIPÓTESIS.....	2
IV. METAS.....	2
V. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
5.1. Funcionamiento hidráulico del emisor.....	3
5.2. Carga de operación de la sección.....	3
5.3. Pérdida de carga permisible en la sección.....	4
5.4. Pérdidas de carga por fricción.....	4
5.4.1. Ecuación de <i>Darcy & Weisbach</i>	4
5.4.1.1. Factor de fricción.....	5
5.4.1.1.1. Número de <i>Reynolds</i>	7
5.4.1.1.1.1. Tipos de flujo en tuberías.....	8
5.4.1.1.1.1.1. Flujo Laminar.....	8
5.4.1.1.1.1.2. Flujo transicional.....	8
5.4.1.1.1.1.3. Flujo Turbulento.....	9
5.4.1.1.1.2. Propiedades físicas del agua.....	9
5.4.1.1.1.2.1. Viscosidad dinámica.....	9
5.4.1.1.1.2.2. Peso específico.....	10
5.4.1.1.1.2.3. Densidad específica.....	10
5.4.1.1.1.2.4. Viscosidad cinemática.....	10
5.4.2. Ecuación de <i>Manning</i>	11
5.4.3. Ecuación de <i>Hazen & Williams</i>	11

5.5. Pérdidas de carga localizadas.....	11
5.6. Factor de Christiansen's.....	12
5.7. Diseño de la sección con la ecuación de <i>Manning</i>	13
5.7.1. Diseño de la línea regante.....	13
5.7.2. Diseño del distribuidor.....	15
VI. MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
6.1. Localización.....	17
6.2. Deducción de ecuaciones para tuberías con salidas múltiples.....	17
6.2.1. Ecuación de pérdida de carga localizada total.....	17
6.2.2. Ecuación de <i>Darcy – Weisbach</i> en función del gasto.....	20
6.2.2.1. Ecuación de <i>Darcy & Weisbach</i> con salidas múltiples.....	21
6.2.3. Ecuación de <i>Hazen - Williams</i> con salidas múltiples.....	25
6.3. Diseño de una sección de riego con la ecuación de <i>Darcy & Weisbach</i>	29
6.3.1. Calculo de las propiedades físicas del agua.....	29
6.3.2. Gasto medio del emisor.....	30
6.3.4. Diseño de la línea regante.....	31
6.3.5. Diseño del distribuidor.....	33
6.3.6. Gasto y superficie de la sección.....	34
6.4. Diseño de una sección con la ecuación de <i>Hazen & Williams</i>	36
6.4.1. Diseño de la línea regante.....	36
6.4.2. Diseño del distribuidor.....	38
6.4.3. Gasto y superficie de la sección.....	40
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	41
7.1. Ecuaciones propuestas para el diseño de la sección.....	41
7.1.1. Ecuación de <i>Darcy & Weisbach</i>	41
7.1.2. Ecuación de <i>Hazen & Williams</i>	42
7.2. Comparación de las ecuaciones propuestas con la ecuación de <i>Manning</i>	43
VIII. CONCLUSIONES.....	48
IX. RECOMENDACIONES.....	49
X. LITERATURA CITADA.....	50

INDICE DE FIGURAS.

Figura 1.- Tubería con salidas múltiples; pérdidas de carga localizadas. UAAAN UL 2011.....	18
Figura 2. Tubería con salidas múltiples; perdidas carga por fricción. UAAAN 2011.....	21
Figura 3. Tubería con salidas múltiples; perdidas de carga por fricción. UAAAN 2011.....	25
Figura 4. Unidad de riego compuesta por dos secciones previamente diseñadas. UAAAN UL 2011.....	35
Figura 5. Unidad de riego compuesta por dos secciones previamente diseñadas. UAAAN UL 2011.....	40
Figura 6. Comparación de número de emisores estimados con diferentes metodologías. UAAAN UL 2011.....	44

ÍNDICE DE CUADROS.

Cuadro 1. Datos necesarios para el diseño de la sección. UAAAN UL 2011.....	29
Cuadro 2. Número de emisores estimados con diferentes metodologías. UAAAN UL 2011.....	44
Cuadro 3. Líneas regantes estimadas con diferentes metodologías para un distribuidor de 47.4 mm. de diámetro interior. UAAAN UL 2011.....	45
Cuadro 4. Líneas regantes estimadas con diferentes metodologías para un distribuidor de 72 mm de diámetro interior. UAAAN UL 2011.....	46
Cuadro 5. Líneas regantes estimadas con diferentes metodologías para un distribuidor de 105.6 mm de diámetro interior. UAAAN UL 2011.....	47

RESUMEN.

En el presente proyecto se desarrollaron dos metodologías para diseñar secciones de riego (línea regante y distribuidor), usando la ecuación de *Darcy & Weisbach* y *Hazen & Williams*, debido a que son las más utilizadas para estimar la pérdida de carga en tuberías junto con la ecuación de *Manning*. Una vez desarrolladas se utilizó un lenguaje de programación en Visual Basic 6.0 para facilitar el cálculo y obtener resultados exactos, utilizando la ecuación de *Swamme & Jain* o *Poiseuille* según el tipo de flujo, para el cálculo del factor fricción de la ecuación de *Darcy & Weisbach*.

En la comparación de resultados se incluyó la metodología *Manning* propuesta por *Ramírez et al.*, 1978. Las ecuaciones se alimentaron con datos reales del comportamiento hidráulico de un emisor de cintilla, y de diámetros comerciales, siendo los mismos valores para las variables de las tres metodologías a excepción de la que depende del tipo de material de la línea regante o distribuidor (rugosidad absoluta, coeficiente de fricción), la cual difiere para cada una. Se encontró que las estimaciones para número de emisores tienden a converger cuando la presión de operación es mayor. La metodología *Hazen & Williams* subestima a la de metodología *Manning* y ambas tienen un comportamiento similar, mientras que la metodología *Darcy & Weisbach* a menor presión de operación subestima y a mayor sobrestima, es decir, intercepta a las metodologías anteriores. Para número de líneas regantes se encontró una tendencia inversa al comportamiento de número de emisores. La metodología que calcula mayor número de emisores estima menor líneas regantes, debido a que la demanda de gasto de la línea regante con mayor número de emisores, provoca mayor pérdida de carga total.

Palabras clave: Diseño, secciones, riego, distribuidor, líneas regantes.

I. INTRODUCCIÓN.

En el riego presurizado el agua se conduce y distribuye por conductos cerrados que requieren presión, se utilizan en la agricultura para suministrar el agua a diferentes tipos de cultivos, debido a las ventajas que ofrece respecto a otros sistemas de riego, en cuanto a eficiencia en uso del agua, operación, manejo fitosanitario e incrementos significativos en la producción. Son un componente esencial que influye en el rendimiento de los cultivos, debido a que por medio de emisores dosifica el agua que requieren los cultivos para satisfacer las demandas en diferentes etapas del ciclo fenológico, y funcionan como un medio para llevar a cabo la fertilización.

La creciente demanda de agua, aumenta la necesidad de mejorar el diseño de sistemas de riego así como también su operación. Un aspecto fundamental en el diseño de un sistema es la uniformidad de distribución de agua, no es posible alcanzar 100%, debido a la pérdida de energía que se produce en el transcurso del recorrido por la tubería, lo que sí es posible es una uniformidad de distribución aceptable de al menos 90%, con la que los cultivos no reflejan en rendimiento una variación estadística significativa entre plantas.

Las ecuaciones más usadas, que estiman la pérdida de carga por fricción en tuberías, son: *Darcy & Weisbach*, *Manning*, y *Hazen & Williams*. La pérdida de carga por fricción causada en una tubería de conducción será mayor a la causada en una tubería con salidas múltiples en su longitud, esto debido a la disminución del gasto por efecto de salidas.

II. OBJETIVOS.

- Generar una metodología de diseño de riego localizado con la ecuación de *Darcy & Weisbach* con salidas múltiples.
- Generar una metodología de diseño de riego localizado con la ecuación de *Hazen & Williams* con salidas múltiples.
- Comparar las metodologías generadas con la metodología *Manning* propuesta por *Ramírez et al.*, 1978.

III. HIPÓTESIS.

Es posible generar una metodología de diseño de riego localizado con las ecuaciones de *Hazen & Williams* y *Darcy & Weisbach* con el mismo coeficiente de salidas múltiples de *Manning*.

Las metodologías generadas subestiman la metodología *Manning*.

IV. METAS.

En un periodo de ocho meses generar las ecuaciones de diseño de riego localizado con la ecuación de *Hazen & Williams* y *Darcy & Weisbach*.

V. REVISIÓN DE LITERATURA.

5.1. Funcionamiento hidráulico del emisor.

Los emisores son accesorios de los sistemas de riego diseñados para satisfacer y distribuir agua en la superficie a irrigar. Hidráulicamente se rigen por una función potencial (*Karmeli y Keller, 1975; Peña et al., Burtn y Stuart, 1994*):

$$Q_e = KH^x \quad (1)$$

Donde:

Q_e = Gasto del emisor ($L \cdot h^{-1}$).

H = Carga hidráulica (m).

K = constante de ajuste que depende de la geometría del emisor (adimensional).

x = constante de ajuste que depende del régimen flujo (adimensional).

5.2. Carga de operación de la sección.

La presión de operación es la que se debe aplicar al inicio de la sección, para asegurar el gasto medio del emisor dentro de ella, y se calcula con la siguiente ecuación (*Ramírez et al., 1978*):

$$H_o = \left(\frac{Q_e}{K(0.9)^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{1}{x}} \quad (2)$$

Donde:

H_o = Carga de operación de la sección (m).

Q_e = Gasto medio del emisor ($L \cdot h^{-1}$).

K = Coeficiente de la ecuación del emisor (adimensional).

x = Exponente de la ecuación del emisor (adimensional).

0.9= Uniformidad de riego preestablecida, representa el 90% de uniformidad.

5.3. Pérdida de carga permisible en la sección.

La pérdida de carga permisible es la cantidad de presión que se perderá en la sección para asegurar la variación de gasto que se desea dentro de la misma y se calcula con la siguiente expresión (*Ramírez et al., 1978*):

$$\Delta H = \left(1 - 0.9^{\frac{1}{x}}\right) H_o \quad (3)$$

Donde:

ΔH = pérdida de carga permisible en la sección (m).

H_o = Presión de operación (m).

0.9= Uniformidad de riego preestablecida, representa el 90% de uniformidad.

5.4. Pérdidas de carga por fricción.

Pérdidas de presión que sufren los fluidos en su circulación por tuberías o conductos, debido al rozamiento de estos con las paredes de las tuberías o conductos y rozamiento entre las distintas capas del fluido.

5.4.1. Ecuación de *Darcy & Weisbach*.

La ecuación de *Darcy - Weisbach* es la más general que estima la pérdida de carga en tuberías circulares con flujo a presión, la cual es resultado de aplicar las leyes de la física del movimiento newton (*Saldarriaga et., al. 2007*).

$$H_f = f \frac{Lv^2}{2Dg} \quad (4)$$

Donde:

H_f = Pérdida de carga (m).

f = Factor de fricción (adimensional).

L = Longitud de la tubería (m).

D = Diámetro interior de la tubería (m).

v = Velocidad media de circulación del fluido ($m \cdot s^{-1}$).

g = Aceleración de la gravedad ($m \cdot s^{-2}$).

5.4.1.1. Factor de fricción.

El factor de fricción o coeficiente de resistencia (f) es un parámetro adimensional que depende del número de Reynolds y de la rugosidad relativa. En toda tubería recta que transporta un líquido a una temperatura determinada, existe una velocidad por debajo de la cual el régimen es laminar, es decir el fluido se desliza entre capas unas sobre otras, para determinar el factor fricción se utilizan las siguientes ecuaciones:

- *Poiseuille* propone la siguiente ecuación para determinar el factor de fricción para flujo laminar:

$$f = \frac{64}{Re} \quad (5)$$

Donde:

Re = Número de *Reynolds* (adimensional).

- *Blasius* (1911) obtiene de forma experimental una primera expresión de f en función de Re , válida para tubos lisos (aquellos en que la rugosidad absoluta no afecta el flujo, al quedar las irregularidades cubiertas por la subcapa laminar) hasta $Re < 10^5$ (*Martínez et., al. 2005*):

$$f = 0.3164Re^{-0.25} \quad (6)$$

- *Prandtl y Von - Karman* (1930), partiendo del concepto de longitud de mezcla, perfeccionan la fórmula de *Blasius* para tubos lisos ampliando su rango de validez (*Martínez et., al. 2005*). Proponen la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \quad (7)$$

- *Nikuradse* (1933) experimenta con tubos rugosos (aquellos en que las pérdidas están dominadas por la rugosidad de las paredes), con rugosidades artificiales obtenidas mediante granos de arena tamizados, llegando a (*Martínez et., al. 2005*):

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \frac{\varepsilon}{3.71D} \quad (8)$$

Donde:

ε = Rugosidad absoluta (m).

D = Diámetro de la tubería (m).

- *Colebrook-White* (1939) consiguen reunir ambas expresiones en una sola, válida para todo tipo de flujo y rugosidades. Además, es adaptable para tubos comerciales con tal de identificar su rugosidad equivalente de *Nikuradse*. La formula de Colebrook-White es por hoy la más exacta y universal (*Martínez et., al. 2005*):

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon}{3.71D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad (9)$$

- *Moody* (1944) consigue representar las expresiones del factor fricción en un ábaco de fácil manejo, que integra todos los tipos de flujos (*Martínez et., al. 2005*).

- La formula explicita más precisa hoy en día es la *Swamme – Jain* deducida en 1976 (*Martínez et., al. 2005*), y utilizada para flujo turbulento:

$$f = \frac{0.25}{\left[\log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{3.71D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} \quad (10)$$

- Churchill (1977) propone la siguiente ecuación:

$$f = 8 \left[\left(\frac{8}{Re} \right)^{12} + \frac{1}{(\alpha + \beta)^{1.5}} \right]^{\frac{1}{12}} \quad (11)$$

α y β son coeficientes que se calculan con las siguientes formulas.

$$\alpha = \left\{ 2.457 \ln \left[\frac{1}{\left(\frac{7}{Re} \right)^{0.9} + 0.27 \left(\frac{\varepsilon}{D} \right)} \right] \right\}^{16} \quad (12)$$

$$\beta = \left(\frac{37,530}{Re} \right)^{16} \quad (13)$$

5.4.1.1.1. Número de *Reynolds*.

La transición de flujo laminar o turbulento depende de la geometría, rugosidad de la superficie, velocidad del flujo, temperatura de la superficie y tipo de fluido, entre otros factores. Después de experimentos exhaustivos en los años de 1880, *Osborne Reynolds* descubrió que el régimen de flujo depende principalmente de la razón de fuerzas inerciales o fuerzas viscosas en el fluido.

Se define con la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{vD}{\vartheta} \quad (14)$$

Donde:

v = Velocidad ($m \cdot s^{-1}$).

D = Diámetro interior de la tubería (m).

ϑ = Viscosidad cinemática ($m^2 \cdot s^{-1}$).

5.4.1.1.1.1. Tipos de flujo en tuberías.

El tipo de flujo depende del valor de la relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas, es decir del número de *Reynolds* (Re).

5.4.1.1.1.1.1. Flujo Laminar.

En una tubería circular, el fluido se desplaza ordenadamente en capas anulares concéntricas que se deslizan una sobre otra con velocidad decreciente desde el eje (velocidad máxima) hasta la pared de la tubería (velocidad cero). El movimiento es ordenado, estratificado; el fluido se mueve en capas que no se mezclan entre sí (*Mataix 1982*). Este involucra números de Reynolds menores de 2000.

5.4.1.1.1.1.2. Flujo transicional.

Valor crítico que marca la transición entre dos regímenes de flujo, el laminar y turbulento, corresponde a

un número de Reynolds entre 2000 y 4000 aunque la situación es imprecisa.

5.4.1.1.1.3. Flujo Turbulento.

Las partículas se mueven desordenadamente y las trayectorias de estas se entrecruzan formando pequeños remolinos aperiódicos (*Mataix 1982*). Este lo determina números de Reynolds mayores de 4000.

5.4.1.1.1.2. Propiedades físicas del agua.

Las propiedades de densidad y viscosidad intervienen en el flujo de agua en las tuberías, son variables que se usan en el diseño de las mismas.

5.4.1.1.1.2.1. Viscosidad dinámica.

La viscosidad de un fluido es una medida de su resistencia a la deformación (*Mataix 1982*), por lo que se refiere al agua líquida, su viscosidad en función de la temperatura, es estimada por la fórmula empírica de *Poiseuille*:

$$\mu = \frac{0.01779}{1 + 0.03368T + 0.000221T^2} \quad (15)$$

Donde:

μ = Viscosidad absoluta o dinámica (*poise*).

T = Temperatura del líquido (°C).

5.4.1.1.1.2.2. Peso específico.

Relación del peso de un fluido por unidad de volumen (*Mataix 1982*). Se determina con la siguiente ecuación:

$$\gamma = \frac{W}{V_o} \quad (16)$$

Donde:

γ = Peso específico ($kg \cdot m^{-3}$).

W = Peso (kg).

V_o = Volumen (m^3).

5.4.1.1.1.2.3. Densidad específica.

Relación de la masa entre volumen (*Mataix 1982*). Se puede determinar con el peso específico usando la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{\gamma}{g} \quad (17)$$

Donde:

ρ = Densidad específica ($kg \cdot s^2 \cdot m^{-1} \cdot m^{-3}$) o ($UTM \cdot m^{-3}$).

5.4.1.1.1.2.4. Viscosidad cinemática.

Relación de la viscosidad dinámica y la densidad específica (*Mataix 1982*). Se calcula con la siguiente ecuación:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (18)$$

Donde:

ν = Viscosidad cinemática ($m^2 \cdot s^{-1}$).

5.4.2. Ecuación de *Manning*.

Becerra (2010) propuso la siguiente ecuación para pérdida de carga por fricción:

$$H_f = \frac{4^{\frac{10}{3}} n^2 L Q^2}{\pi^2 D^{\frac{16}{3}}} \quad (19)$$

Donde:

H_f = Pérdida de carga por fricción (m).

n = Coeficiente de rugosidad de *Manning* de la tubería (adimensional).

L = Longitud de la tubería (m).

Q = Caudal que circula por la tubería ($m^3 \cdot s^{-1}$).

5.4.3. Ecuación de *Hazen & Williams*.

La formula de *Hazen & Williams* es una de las más populares para el diseño y análisis de sistemas hidráulicos. *Hazen & Williams* (1905) adopta la siguiente expresión para el cálculo de pérdidas por fricción:

$$H_f = \frac{L}{D^{4.87}} \left(\frac{Q}{0.2785C} \right)^{1.852} \quad (20)$$

Donde:

C = Coeficiente de rugosidad de la tubería (adimensional).

5.5. Pérdidas de carga localizadas.

Además de las pérdidas de carga continuas o por rozamiento, en las conducciones se produce otro tipo de pérdidas, debido a fenómenos de

turbulencia que se originan al paso de los líquidos por puntos singulares de las tuberías, como: inserción de emisores o accesorios etc. Se conocen como pérdidas de carga localizadas Hl , que sumadas a las pérdidas de carga lineales Hf , dan la pérdida de presión total Ht .

Becerra (2010) propone la siguiente ecuación para pérdidas localizadas en función del caudal.

$$Hl = k_l \frac{8Q^2}{g\pi^2 D^4} \quad (21)$$

Donde:

k_l = Coeficiente de pérdida localizada del accesorio (adimensional).

5.6. Factor de Christiansen's.

Christiansen (1942) propone el factor " F_C " (adimensional) que contempla el efecto de salidas múltiples equidistantes para descargas de gasto iguales, donde las características hidráulicas de la tubería se mantienen constantes a lo largo de la tubería:

$$F_C = \left(\frac{1}{m+1} + \frac{1}{2N} + \frac{\sqrt{m-1}}{6N^2} \right) \quad (22)$$

Donde:

m = es el exponente de la velocidad en la fórmula para el cálculo de pérdida de carga por fricción.

N = numero de salidas a lo largo de la tubería.

Para estimar la pérdida de carga total en una tubería con salidas múltiples se multiplica la pérdida por fricción por el factor F .

Detar (1982) establece la ecuación que contabiliza los gastos de las ecuaciones de pérdidas de carga por fricción, para el cálculo de tuberías con salidas múltiples:

$$\frac{1}{N^{m+1}} \sum_{i=1}^N i^m = \left(\frac{1}{m+1} + \frac{1}{2N} + \frac{m}{12N^2} \right) \quad (23)$$

5.7. Diseño de la sección con la ecuación de *Manning*.

Ramírez et. al., 1978 propone una metodología de diseño utilizando la ecuación de *Manning* para estimar las pérdidas de carga por fricción en líneas regantes y distribuidor, en la cual de manera general se reparte la pérdida de carga permisible de la sección en sus componentes; línea regante y distribuidor.

5.7.1. Diseño de la línea regante.

Considerando que una línea regante es un tramo con salidas múltiples, donde se genera pérdida de carga por fricción, y localizada (debido a la conexión de emisores), se deduce la siguiente expresión de pérdida de carga total en función del diámetro (*Becerra 2010*), para tuberías con salidas múltiples:

$$H_t = \left[2n^2 S \left(\frac{4}{D_{lr}} \right)^{\frac{4}{3}} + \frac{k_e}{g} \frac{8Q_e^2}{\pi D_{lr}^4} \sum_{i=1}^N i^2 \right] \quad (24)$$

Donde:

H_t = Pérdida de carga total en una en una línea regante (m).

S = separación de emisores (m).

Q_e = Caudal del emisor ($m^3 \cdot s^{-1}$).

D_{lr} = Diámetro interior de la línea regante (m).

k_e = Coeficiente de pérdida localizada por inserción del emisor (adimensional).

La sumatoria se resuelve con la siguiente igualdad:

$$\sum_{i=1}^N i^2 = \frac{2N^3 + 3N^2 + N}{6} \quad (25)$$

Donde:

N = Número de salidas (emisores o líneas regantes).

Simplificando la ecuación anterior queda:

$$\sum_{i=1}^N i^2 = N^3 \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{2N} + \frac{1}{6N^2} \right) \quad (26)$$

De esta forma se obtiene el coeficiente de salidas múltiples que aplica para el diseño de tuberías con la ecuación de *Manning*, *Darcy & Weisbach* y *Hazen & Williams*.

$$\sum_{i=1}^N i^2 = N^3 CSM \quad (27)$$

Becerra (2010) propone la ecuación de *Manning* con salidas múltiples para calcular el número emisores en una línea regante o distribuidor en función del diámetro.

$$N_e = \left[\frac{\Delta H (\% lr)}{\left[2n^2 S \left(\frac{4}{D_{lr}} \right)^{\frac{4}{3}} + \frac{k_e}{g} \right] \frac{8Q_e^2}{\pi D_{lr}^4} \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{2N_e} + \frac{1}{6N_e^2} \right)} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (28)$$

Donde:

N_e = Número de emisores propuestos.

$\%lr$ = Porcentaje de pérdida de carga permisible para la línea regante, se procesa como un cociente (tanto por uno).

Si se tratara de una sola línea regante la pérdida de carga permisible es igual al 100%. La ecuación anterior se soluciona por tanteos haciendo interacciones hasta que N propuesto sea igual al calculado ($N = N$).

5.7.2. Diseño del distribuidor.

El diseño del distribuidor es similar al de la línea regante, el número de líneas regantes que debe tener un distribuidor se calcula básicamente con la ecuación (28) que se usa para calcular el número de emisores (Becerra 2010), haciendo las adecuaciones correspondientes queda:

$$N_{lr} = \left[\frac{\Delta H (\% dt)}{\left[2n^2 S_{lr} \left(\frac{4}{D_{dt}} \right)^{\frac{4}{3}} + \frac{k_{lr}}{g} \right] \frac{8Q_{lr}^2}{\pi D_{dt}^4} \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{2N_{lr}} + \frac{1}{6N_{lr}^2} \right)} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (29)$$

Donde:

ΔH = Pérdida de carga permisible en la sección (m).

$\%dt$ = Porcentaje de pérdida de carga permisible para, el distribuidor se procesa como un cociente (tanto por uno).

S_{Lr} = Separación de líneas regantes (m).

D_{dt} = Diámetro del distribuidor (m).

k_{lr} = Coeficiente de pérdida localizada por conexión de líneas regantes a la tubería distribuidora.

N_{lr} = Numero de líneas regantes propuestas.

Q_{lr} = Gasto de la línea regante ($m^3 \cdot s^{-1}$).

$Q_{lr} = N_e Q_e$, si el distribuidor tiene líneas regantes a un solo lado.

$Q_{tr} = 2(N_e Q_e)$, si el distribuidor tiene líneas regantes en ambos lados.

Si el distribuidor tiene regantes en ambos lados, la N_{tr} será solamente la mitad de las salidas físicas.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS.

6.1. Localización.

El proyecto se realizó en las instalaciones del departamento de riego y drenaje, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro - UL, ubicada entre carretera Santa Fe y periférico Raúl Sánchez López Km. 1.5, en la ciudad de Torreón, Coah., México.

6.2. Deducción de ecuaciones para tuberías con salidas múltiples.

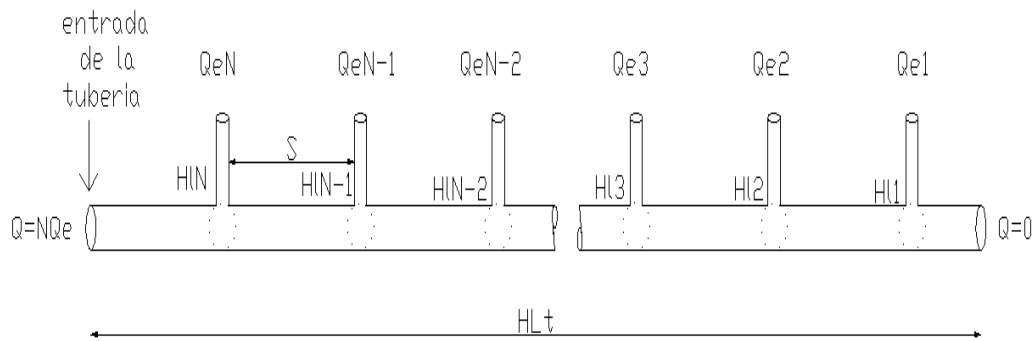
En el diseño de tuberías con salidas múltiples; líneas regantes o distribuidores, se hacen las siguientes suposiciones:

- Todas las salidas tienen el mismo espaciado y descarga.
- La distancia entre la entrada de la tubería y la primera salida es igual a un espacio de salida completa.
- Las Características hidráulicas (el factor de fricción, rugosidad y diámetro de la tubería) se mantienen constantes a lo largo de la tubería.

6.2.1. Ecuación de pérdida de carga localizada total.

A continuación se describe el procedimiento deductivo de la sumatoria acumulada del gasto, basado en el funcionamiento hidráulico de una tubería con salidas múltiples, representada en la figura 1. En la cual se consideran las descargas de igual gasto; donde Q_{e_1} representa el gasto uno, es decir la primera descarga aguas arriba de la salida de la tubería, más no una multiplicación, por igual él Q_{e_2} corresponde a la segunda

descarga, y así sucesivamente hasta Q_{eN} el cual representa la descarga N de la tubería, que sería el total de salidas en la tubería.



**Figura 1.- Tubería con salidas múltiples; carga localizadas. UAAAN
UL 2011**

La estimación de las pérdidas de carga localizada para cada punto de conexión se hace de la siguiente manera:

$$\text{Para la primera conexión; } Hl_1 = \frac{8k_l(Qe_1)^2}{g\pi^2 D^4}$$

$$\text{Para la segunda conexión; } Hl_2 = \frac{8k_l(Qe_1+Qe_2)^2}{g\pi^2 D^4}$$

$$\text{Para la tercera conexión; } Hl_3 = k_l \frac{8k_l(Qe_1+Qe_2+Qe_3)^2}{g\pi^2 D^4}$$

⋮

$$\text{Pa la conexión N; } Hl_N = k_l \frac{8k_l(Qe_1+Qe_2+Qe_3+\dots+Qe_N)^2}{g\pi^2 D^4}$$

Por lo tanto se deduce que en ningún punto de conexión las pérdidas localizadas serán iguales, esto debido a que el gasto varía a lo largo de la tubería por efecto de salidas. En la primera conexión correspondiente al Q_{e1} se genera la menor pérdida de carga localizada, en la segunda conexión la pérdida de carga es aún mayor, de tal manera que en el punto conexión N se provoca la mayor pérdida de carga localizada, debido a que en este punto pasa el gasto total de la tubería.

La pérdida de carga localizada total en la tubería será igual a la sumatoria de todas las generadas en cada punto de conexión y se determina con siguiente expresión:

$$Ht = Hl_1 + Hl_2 + Hl_3 + \dots + Hl_N$$

Retomando las suposiciones para tuberías con salidas múltiples; todas las características hidráulicas se mantienen constantes en su longitud, a excepción del gasto, por lo tanto el siguiente análisis conlleva al desarrollo de una sumatoria de la variable Q^2 , de la ecuación de pérdida de carga localizada:

Para la primera conexión; $(Qe_1)^2$

Para la segunda conexión; $(Qe_1 + Qe_2)^2$

Para la tercera conexión; $(Qe_1 + Qe_2 + Qe_3)^2$

⋮

Para la primera conexión N; $(Qe_1 + Qe_2 + Qe_3 + \dots + Qe_N)^2$

Dicha variable implica el desarrollo de una sumatoria acumulada, la cual contabiliza todos los gastos en la tubería:

$$\sum_{i=1}^N i^2 = (Qe_1)^2 + (Qe_1 + Qe_2)^2 + (Qe_1 + Qe_2 + Qe_3)^2 + \dots + (Qe_1 + Qe_2 + Qe_3 + \dots + Qe_N)^2$$

Reduciendo términos de la ecuación anterior queda:

$$\sum_{i=1}^N i^2 = (1Qe)^2 + (2Qe)^2 + (3Qe)^2 + \dots + (NQe)^2$$

Por lo tanto se deduce la ecuación 30 de pérdida de carga localizada total en una tubería con salidas múltiples.

$$Hlt = \frac{8k_i Q^2}{g\pi^2 D^4} \sum_{i=1}^N i^2 \quad (30)$$

Este procedimiento se repite para contabilizar los gastos de la ecuación de pérdida de carga por fricción de *Darcy & Weisbach* en función del gasto, o de la ecuación de *Hazen & Williams* en la cual la sumatoria acumulada de gastos tendrá una potencia diferente.

6.2.2. Ecuación de *Darcy – Weisbach* en función del gasto.

Al sustituir la ecuación 31 correspondiente al área “A”, en la ecuación 32 de continuidad que corresponde al gasto “Q”, resulta la ecuación 33 que corresponde a la velocidad de un fluido en función de un caudal.

$$A = \frac{\pi}{4} D^2 \quad (31)$$

$$Q = vA \quad (32)$$

$$v = \frac{4Q}{\pi D^2} \quad (33)$$

Si sustituimos la ecuación 33 en la ecuación 4 (ecuación de “*Darcy & Weisbach*” que es utilizada para calcular pérdidas de carga por rozamiento), resulta la ecuación 34, de esta manera resulta práctico su uso para los cálculos posteriores.

$$Hf = f \frac{8SQ^2}{g\pi^2 D^5} \quad (34)$$

6.2.2.1. Ecuación de *Darcy & Weisbach* con salidas múltiples.

En la figura 2 se aprecia una tubería con salidas múltiples, donde: Hf_1 representa la pérdida de carga por fricción en el primer tramo; Hf_2 simula la del segundo, y así continuamente hasta Hf_N , la cual representa la pérdida de presión por fricción en el tramo N.

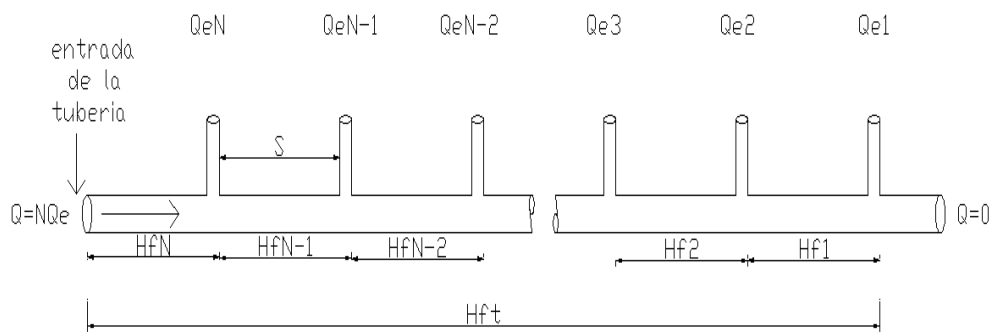


Figura 2. Tubería con salidas múltiples; pérdidas de carga por fricción. UAAAN 2011

La pérdida de carga por fricción utilizando la ecuación de *Darcy & Weisbach* se determina de la siguiente manera para cada tramo.

Para el primer tramo; $Hf_1 = f \frac{8S(Qe_1)^2}{g\pi^2 D^5}$

Para el segundo tramo; $Hf_2 = f \frac{8S(Qe_1+Qe_2)^2}{g\pi^2 D^5}$

Para el tercer tramo; $Hf_3 = f \frac{8S(Qe_1+Qe_2+Qe_3)^2}{g\pi^2 D^5}$

⋮

$$\text{Para el tramo } N; Hf_N = f \frac{8S(Qe_1+Qe_2+Qe_3+\dots+Qe_N)^2}{g\pi^2 D^5}$$

Por lo tanto la pérdida de carga por fricción total (Hft) en una tubería con salidas múltiples, será igual a la sumatoria de todas las generadas en cada tramo que la integre.

$$Hft = Hf_1 + Hf_2 + Hf_3 + \dots + Hf_N$$

La pérdida de carga por fricción varía en cada tramo, debido a que en el primero solo circula el gasto de una salida, es decir el Qe_1 ; mientras que en el segundo tramo fluye el caudal correspondiente a dos salidas Qe_1 y Qe_2 ; y así sucesivamente de tal manera que en el tramo N se genera la mayor pérdida de carga por fricción, esto se debe a que en este pasan todos los gastos que serán distribuidos posteriormente, es decir en este tramo fluye el gasto total (Qt) de la tubería y éste se determina con la siguiente ecuación:

$$Qt = Qe_1 + Qe_2 + Qe_3 + \dots + Qe_N$$

Todas las variables se consideran constantes a lo largo de la tubería, a excepción del gasto, que disminuye por efecto de salidas, se hace el siguiente análisis para esta variable, con el fin de evitar el cálculo para cada tramo:

Para el primer tramo; $(Qe_1)^2$

Para el segundo tramo; $(Qe_1 + Qe_2)^2$

Para el tercer tramo; $(Qe_1 + Qe_2 + Qe_3)^2$

⋮

Para el tramo N ; $(Qe_1 + Qe_2 + Qe_3 + \dots + Qe_N)^2$

Este análisis genera la sumatoria acumulada de gastos para la variable Q^2 de la ecuación de pérdida de carga por fricción y queda:

$$\sum_{i=1}^N i^2 = (Qe_1)^2 + (Qe_1 + Qe_2)^2 + (Qe_1 + Qe_2 + Qe_3)^2 + \dots \\ + (Qe_1 + Qe_2 + Qe_3 + \dots + Qe_N)^2$$

O bien la siguiente ecuación, que a diferencia de la anterior en esta los números están activos, es decir no representan las posiciones de las salidas por lo tanto si multiplican, ambas ecuaciones llegan al mismo resultado.

$$\sum_{i=1}^N i^2 = (1Qe)^2 + (2Qe)^2 + (3Qe)^2 + \dots + (NQe)^2$$

Al combinarse la sumatoria de gastos, con la ecuación 34 de *Darcy & Weisbach*, resulta la ecuación 35 que calcula la pérdida de carga por fricción total en tuberías con salidas múltiples.

$$Hft = f \frac{8SQ^2}{g\pi^2 D^5} \sum_{i=1}^N i^2 \quad (35)$$

Al sumar ecuación 30 de pérdida de carga localizada total, con la ecuación 35 de pérdida de carga fricción total, resulta la ecuación 36 para estimar la pérdida de carga total en una tubería con salidas múltiples.

$$Ht = \frac{8k_l Q^2}{g\pi^2 D^4} \sum_{i=1}^N i^2 + f \frac{8SQ^2}{g\pi^2 D^5} \sum_{i=1}^N i^2 \quad (36)$$

Factorizando y resolviendo la sumatoria de gastos resulta la ecuación 37.

$$Ht = \left[\left(f \frac{S}{D} + k_l \right) \left(\frac{8Q^2}{g\pi^2 D^4} \right) \right] N^3 \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{2N} + \frac{1}{6N^2} \right) \quad (37)$$

Y Despejando N de la ecuación 37 se origina la expresión 38 que calcula el número de salidas múltiples en una tubería, esta se soluciona por tanteos haciendo interacciones sucesivas hasta que N propuesta se igual a la calculada ($N = N$).

$$N = \left[\frac{Ht}{\left(f \frac{S}{D} + k_l \right) \left(\frac{8Q^2}{g\pi^2 D^4} \right) \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{2N} + \frac{1}{6N^2} \right)} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (38)$$

6.2.3. Ecuación de *Hazen - Williams* con salidas múltiples.

La estimación de pérdida de carga por fricción de cada tramo de la tubería utilizando la ecuación de *Hazen & Williams* se hace el siguiente procedimiento deductivo, en base a la figura 3.

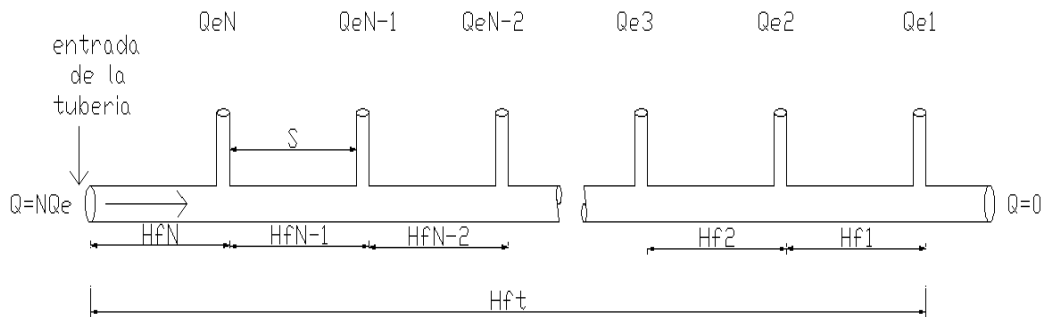


Figura 3. Tubería con salidas múltiples; pérdidas de carga por fricción. UAAAN 2011

Las estimaciones se hacen de la siguiente manera:

$$\text{Para el primer tramo; } Hf_1 = \frac{s}{D^{4.87}} \left(\frac{Qe_1}{0.2785C} \right)^{1.852}$$

$$\text{Para el segundo tramo; } Hf_2 = \frac{s}{D^{4.87}} \left(\frac{Qe_1 + Qe_2}{0.2785C} \right)^{1.852}$$

$$\text{Para el tercer tramo; } Hf_3 = \frac{s}{D^{4.87}} \left(\frac{Qe_1 + Qe_2 + Qe_3}{0.2785C} \right)^{1.852}$$

⋮

$$\text{Para el tramo } N; Hf_N = \frac{s}{D^{4.87}} \left(\frac{Qe_1 + Qe_2 + Qe_3 + \dots + Qe_N}{0.2785C} \right)^{1.852}$$

Al sumar la pérdida de carga de todos los tramos, se obtiene la pérdida de carga por fricción total (Hft) en la tubería.

$$Hft = Hf_1 + Hf_2 + Hf_3 + \dots + Hf_N$$

Debido a que todas las variables se mantienen constantes a lo largo de la tubería, a excepción del gasto, el cual disminuye por efecto de salidas, se hace el siguiente análisis del gasto de la ecuación de pérdida de carga por fricción, con el fin de evitar hacer el cálculo para cada tramo.

Para el primer tramo; $(Qe_1)^{1.852}$

Para el segundo tramo; $(Qe_1 + Qe_2)^{1.852}$

Para el tercer tramo; $(Qe_1 + Qe_2 + Qe_3)^{1.852}$

⋮

Para el tramo N ; $(Qe_1 + Qe_2 + Qe_3 + \dots + Qe_N)^{1.852}$

Por lo tanto se genera una sumatoria acumulada, que contabiliza el gasto de la ecuación.

$$\sum_{i=1}^N i^{1.852} = (Qe_1)^{1.852} + (Qe_1 + Qe_2)^{1.852} + (Qe_1 + Qe_2 + Qe_3)^{1.852} + \dots + (Qe_1 + Qe_2 + Qe_3 + \dots + Qe_N)^{1.852}$$

Considerando que las descargas por salida son de igual gasto, la ecuación anterior se reduce y queda:

$$\sum_{i=1}^N i^{1.852} = (Qe)^{1.852} + (2Qe)^{1.852} + (3Qe)^{1.852} + \dots + (NQe)^{1.852}$$

Al combinarse la sumatoria de gastos, con la ecuación 20 de *Hazen & Williams*, resulta la ecuación 39 que calcula la pérdida de carga por fricción total en una tubería con salidas múltiples.

$$Hft \frac{s}{D^{4.87}} \left(\frac{Q}{0.2785C} \right)^{1.852} \sum_{i=1}^N i^{1.852} \quad (39)$$

Al sumar ecuación 30 de pérdida de carga localizada total, con la ecuación 39 de pérdida de carga por fricción total, resulta la ecuación 40 para estimar la pérdida de carga total en una tubería con salidas múltiples.

$$Ht = \frac{s}{D^{4.87}} \left(\frac{Q}{0.2785C} \right)^{1.852} \sum_{i=1}^N i^{1.852} + \frac{8k_l Q^2}{g\pi^2 D^4} \sum_{i=1}^N i^2 \quad (40)$$

Despejando la sumatoria de ecuación 23 propuesta por *Detar* y sustituyendo el exponente del gasto de la ecuación 20 de *Hazen & Williams* en m , se obtienen la ecuación 41 que contabiliza los gastos y el coeficiente de salidas múltiples de *Hazen & Williams* (CSM_H) ecuación 40, para pérdida de carga por fricción en tuberías con salidas múltiples.

$$\sum_{i=1}^N i^{1.852} = N^{2.852} \left(\frac{1}{2.852} + \frac{1}{2N} + \frac{1.852}{12N^2} \right) \quad (41)$$

$$\sum_{i=1}^N i^{1.852} = N^{2.852} CSM_H$$

$$CSM_H = \left(\frac{1}{2.852} + \frac{1}{2N} + \frac{1.852}{12N^2} \right) \quad (40)$$

Sustituyendo las igualdades de las sumatorias resulta la ecuación 41 para pérdida total en una tubería con salidas múltiples.

$$Ht = N^3 \left[\frac{S}{D^{4.87}} \left(\frac{Q}{0.2785C} \right)^{1.852} \frac{1}{N^{0.148}} \left(\frac{1}{2.852} + \frac{1}{2N} + \frac{1.852}{12N^2} \right) + \frac{8k_l Q^2}{g\pi^2 D^4} \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{2N} + \frac{1}{6N^2} \right) \right] \quad (41)$$

Despejando N se obtiene la ecuación 42 para calcular el número de salidas en una tubería. Se soluciona haciendo interacciones hasta que N propuesta sea igual a la calculada $N = N$.

$$N = \left\{ \frac{Ht}{\left[\left(\frac{S}{D^{4.87}} \right) \left(\frac{Q}{0.2785C} \right)^{1.852} \left(\frac{1}{N^{0.148}} \right) \left(\frac{1}{2.852} + \frac{1}{2N} + \frac{1.852}{12N^2} \right) \right] + \left[\left(\frac{8k_l Q^2}{g\pi^2 D^4} \right) \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{2N} + \frac{1}{6N^2} \right) \right]} \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (42)$$

6.3. Diseño de una sección de riego localizado con la ecuación de *Darcy & Weisbach*.

El cuadro 1 muestra los valores de las variables que se utilizan en el procedimiento del diseño de la sección.

Cuadro 1. Datos necesarios para el diseño de la sección. UAAAN UL 2011

Temperatura del agua (T)	4°C
Ecuación del emisor	
constante de ajuste (K)	0.0907
Exponente de la carga de operación (x)	0.8859
Carga de operación (Ho)	7.0307 m
Línea regante	
porcentaje de pérdida de carga permisible (% <i>lr</i>)	30%
Diámetro interior (<i>D_{lr}</i>)	16 mm.
Separación de emisores (S)	20 cm.
Rugosidad absoluta (ϵ)	0.007 mm
Coefficiente de Hazen & Williams para Polietileno	140
Coefficiente de inserción del emisor (<i>k_e</i>)	0.5
Distribuidor	
Porcentaje de pérdida de carga permisible (% <i>dt</i>)	70%
Diámetro interior (<i>D_{dt}</i>)	47.4 mm.
Separación de líneas regantes (<i>S_{lr}</i>)	1 m
Rugosidad absoluta del PVC (ϵ)	0.0015 mm
Coefficiente de fricción de Hazen & Williams para PVC	150
Coefficiente de conexión de la línea regante (<i>k_{lr}</i>)	0.5

6.3.1. Calculo de las propiedades físicas del agua.

– Calculo de viscosidad dinámica (μ), del agua utilizando la formula empírica de poiseuille.

$$\mu = \frac{0.01779}{1 + (0.03368 \times 4) + (0.000221 \times 4^2)} = 0.01562917305 \text{ poises}$$

Conversión de poises a $\frac{kg*s}{m^2}$

$$\mu = \frac{0.01562917305 \text{ poises}}{98 \text{ poises} / \frac{kg/s}{m^2}} = 1.5948 \times 10^{-4} \frac{kg/s}{m^2}$$

– Calculo de densidad específica (ρ) del agua.

$$\rho = \frac{\gamma}{g} = \frac{1000 \text{ kg/m}^3}{9.81 \text{ m/s}^2} = 101.9367 \text{ UTM/m}^3$$

$$\text{UTM} = \frac{kg/s^2}{m}$$

– Calculo de viscosidad cinemática (ϑ) del agua.

$$\vartheta = \frac{\mu}{\rho} = \frac{1.5948 \times 10^{-4} \frac{kg/s}{m^2}}{101.9367 \frac{kg/s^2}{m^4}} = 1.5645 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

6.3.2. Gasto medio del emisor.

Calculo del gasto medio (Q_e) del emisor para una carga de operación dada.

$$Q_e = H_o^x K 0.9^{\frac{1}{2}} = 7.0307 m^{0.8859} \left(0.0907 * 0.9^{\frac{1}{2}} \right) = 0.4842 \text{ lph}$$

Conversión del gasto del emisor a metros cúbicos por segundo.

$$Q_e = \frac{0.4842 \text{ l/h}}{3600 \text{ s/h} \times 1000 \text{ l/m}^3} = 1.345 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$$

6.3.3. Pérdida de carga permisible en la sección.

Calculo de pérdida de carga permisible para una variación de gasto \leq al 10% entre el primer y último emisor.

$$\Delta H = \left(1 - 0.9^{\frac{1}{x}}\right) H_o = \left(1 - 0.9^{\frac{1}{0.8859}}\right) = 0.7883 \text{ m}$$

6.3.4. Diseño de la línea regante.

La pérdida de carga permisible en la sección se reparte en la línea regante y distribuidor, asignando un porcentaje para el diseño de cada uno, esto determina la forma y tamaño de la sección, cuando los valores son constantes en un mismo diseño.

Como ya se tiene el resultado exacto, del número de emisores calculado con la metodología *Darcy & Weisbach* mediante el uso de un programa de computo, y para hacer sencilla la explicación usaremos N_e propuesto igual a 331, de esta manera se corrobora el resultado, siendo la única interacción para este cálculo.

– Calculo del número de *Reynolds* (Re) de la línea regante.

Calculo para un gasto de 331 emisores (60.2 m de cintilla)

$$Re = \frac{4 \times (331 \times (1.345 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}))}{(3.1416)(0.016 \text{ m})(1.5645 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s})} = 2264.4601$$

– Calculo del factor fricción (f) de la línea regante.

De acuerdo al *Reynolds* calculado el flujo se encuentra en régimen transicional, lo práctico sería seguir usando *Poiseuille*, para otros cálculos si se encuentra un *Reynolds* > 4000 , se recomienda usar la ecuación de *Colebrook & White*, *Swamme & Jain* u otra ecuación que aplique para régimen turbulento.

$$f = \frac{64}{2264.4601} = 0.028262$$

– Calculo del número de emisores en línea regante.

$$N_e = \left[\frac{\Delta H (\% lr)}{\left(f \frac{S}{D_{lr}} + k_e \right) \left(\frac{8Q_e^2}{g\pi^2 D_{lr}^4} \right) \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{2N_e} + \frac{1}{6N_e^2} \right)} \right]^{\frac{1}{3}}$$

Sustituyendo los valores queda:

$$N_e = \left[\frac{(0.7883 \text{ m})0.3}{\left((0.02826 \left(\frac{0.2 \text{ m}}{0.016 \text{ m}} \right) + 0.5) \left(\frac{8(1.345 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s})^2}{(9.81 \text{ m/s}^2)(3.1416)^2(0.016 \text{ m})^4} \right) \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{2(331)} + \frac{1}{6(331)^2} \right) \right)} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$N_e = \left[\frac{0.23649 \text{ m}}{\left(((0.028262 \times 12.5) + 0.5) \right) (2.2807 \times 10^{-8} \text{ m}) (0.334845) \right]^{\frac{1}{3}} = 331.08$$

Número de emisores calculado es igual al propuesto ($331.08 \approx 331$).

El gasto de la línea regante = $331(0.4842 \text{ lph}) = 160.2702 \text{ lph}$

6.3.5. Diseño del distribuidor.

El ejemplo se desarrollo para un distribuidor con líneas regantes en ambos lados, con el fin de aprovechar mejor la presión.

– Calculo del número de *Reynolds*.

El número de líneas regantes propuesto es 23, el cual contempla un total de 46 líneas regantes, debido a que el distribuidor tendrá líneas regantes en ambos lados.

$$Re = \frac{4(N_{lr}Q_{lr})}{\pi D_{dt}v} = \frac{4 \times (23 \times (8.9039 \times 10^{-5} m^3/s))}{(3.1416)(0.0474 m)(1.5645 \times 10^{-6} m^2/s)} = 35161.25107$$

– Calculo del factor fricción.

El régimen es turbulento por lo tanto se usa la ecuación de *Swamme & Jain*.

$$f = \frac{0.25}{\left[\log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{3.71 D_{dt}} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$$
$$f = \frac{0.25}{\left[\log_{10} \left(\frac{0.0015 \text{ mm}}{3.71(47.4 \text{ mm})} + \frac{5.74}{(35161.25107)^{0.9}} \right) \right]^2} = 0.0226176$$

Para un distribuidor con líneas regantes en ambos lados el gasto de la línea regante se multiplica por 2 y queda:

$$Q_{lr} = 160.2702 \text{ lph} \times 2 = 320.5404 \text{ lph}$$

Conversión del gasto de la línea regante a metros cúbicos por segundo.

$$Q_{lr} = \frac{320.5404 \text{ l/h}}{3600 \text{ s/h} \times 1000 \text{ l/m}^3} = 8.9039 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$N_{lr} = \left[\frac{\Delta H (\% dt)}{\left(f \frac{S_{lr}}{D_{dt}} + k_l \right) \left(\frac{8Q_{lr}^2}{g\pi^2 D_{dt}^4} \right) \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{2N_{lr}} + \frac{1}{6N_{lr}^2} \right)} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$N_{lr} = \left[\frac{(0.7883 \text{ m})^{0.7}}{\left(0.022617 \frac{1 \text{ m}}{0.0474 \text{ m}} + 0.5 \right) \left(\frac{8(8.9039 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s})^2}{(9.81 \text{ m/s}^2)(3.1416)^2(0.0474 \text{ m})^4} \right) \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{2(23)} + \frac{1}{6(23^2)} \right)} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$N_{lr} = \left[\frac{0.55181 \text{ m}}{\left((0.022617 \times 21.09704) + 0.5 \right) (1.29768 \times 10^{-4} \text{ m})(0.35538)} \right]^{\frac{1}{3}} = 23.04$$

$$N_{lr} = N_{lr}$$

El número de líneas regantes calculadas es igual al propuesto

$$(23.04 \approx 23)$$

El resultado corresponde a 23 líneas regantes, es decir un total de 46 salidas físicas por que el distribuidor riega en ambos lados.

6.3.6. Gasto y superficie de la sección.

Gasto de la sección (Q_s):

$$Q_s = N_{lr} \times 2(N_e) \times Q_e = 23 \times 2(331) \times 0.4842 \text{ lph} = 2.047 \text{ lps}$$

Superficie (*Sup.*):

$$Sup. = Longitud\ lr \times Longitud\ distribuidor$$

$$Sup. = 2(331 \times 0.2m) \times 23(1m) = 3045.2\ m^2 = 0.30452\ Ha$$

La figura 4 muestra dos veces la misma sección que calculamos, ambas forman la unidad de riego.

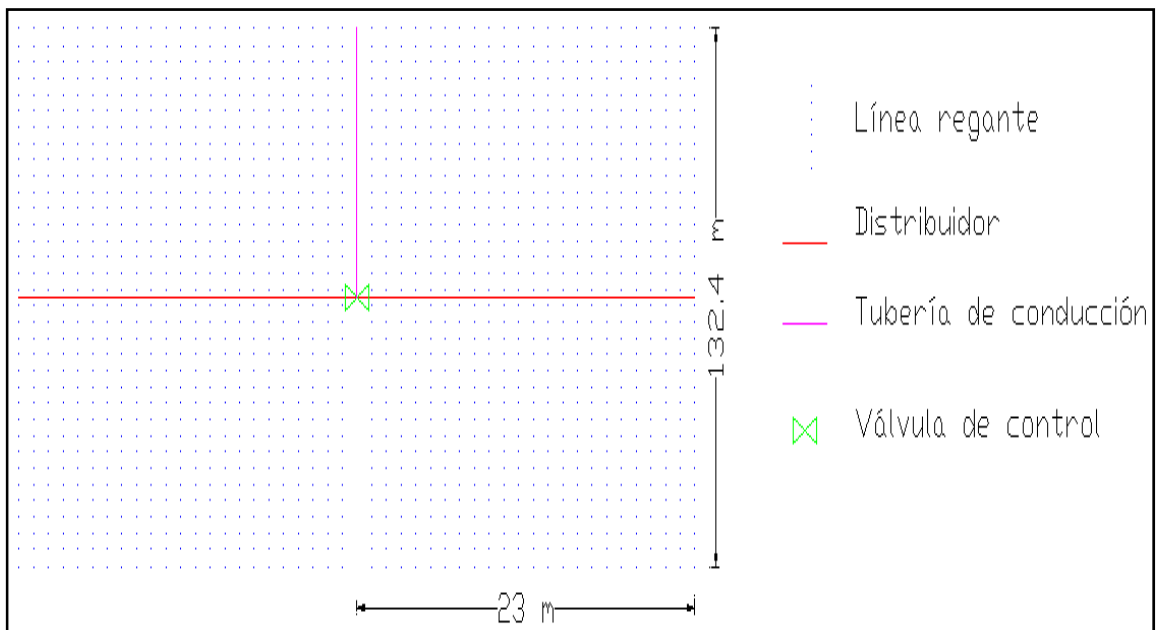


Figura 4. Unidad de riego compuesta por dos secciones previamente diseñadas.

6.4. Diseño de una sección de riego localizado con la ecuación de *Hazen & Williams*.

En este ejemplo usaremos los mismos datos del cuadro 1, y los resultados de los cálculos de gasto del emisor y pérdida de carga permisible en la sección del ejemplo anterior, con el fin de notar diferencias entre ambas ecuaciones.

6.4.1. Diseño de la línea regante.

Para hacer práctico el cálculo desglosaremos la ecuación *Hazen & Williams* que estima el número de emisores en la línea regante, el número de emisores propuesto es 318.

$$N_e = \left\{ \frac{\Delta H(\% lr)}{\left[\left(\frac{S}{D_{lr}^{4.87}} \right) \left(\frac{Q_e}{0.2785C} \right)^{1.852} \left(\frac{1}{N_e^{0.148}} \right) \left(\frac{1}{2.852} + \frac{1}{2N_e} + \frac{1.852}{12N_e^2} \right) \right] + \left[\left(\frac{8k_e Q_e^2}{g\pi^2 D_{lr}^4} \right) \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{2N_e} + \frac{1}{6N_e^2} \right) \right]} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

Agrupando los términos y a la vez sustituyendo los valores de las variables se tiene:

$$\Delta H_{lr} = \Delta H(\% lr)$$

$$\Delta H_{lr} = 0.7883 m (0.3) = 0.23649 m$$

$$H_{f_{lr}} = \left(\frac{S}{D_{lr}^{4.87}} \right) \left(\frac{Q_e}{0.2785C} \right)^{1.852}$$

$$H_{f_{lr}} = \left(\frac{0.2 m}{(0.016 m)^{4.87}} \right) \left(\frac{1.345 \times 10^{-7} m^3/s}{0.2785(140)} \right)^{1.852} = 2.3709 \times 10^{-8} m$$

$$CSM_H = \left(\frac{1}{N_e^{0.148}} \right) \left(\frac{1}{2.852} + \frac{1}{2N_e} + \frac{1.852}{12N_e^2} \right)$$

$$CSM_H = \left(\frac{1}{(318)^{0.148}} \right) \left(\frac{1}{2.852} + \frac{1}{2(318)} + \frac{1.852}{12(318)^2} \right) = 0.15011$$

$$Hl = \frac{8 k_e Q_e^2}{g \pi^2 D_{lr}^4}$$

$$Hl = \frac{8 (0.5) (1.345 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s})^2}{(9.81 \text{ m/s}^2) (3.1416)^2 (0.016 \text{ m})^4} = 1.14039 \times 10^{-8} \text{ m}$$

$$CSM = \frac{1}{3} + \frac{1}{2N} + \frac{1}{6N_e^2}$$

$$CSM = \frac{1}{3} + \frac{1}{2(318)} + \frac{1}{6(318)^2} = 0.3349$$

Los resultados de cada igualdad se acomodan de la siguiente manera:

$$N_e = \left[\frac{\Delta H l r}{(H f l r \times CSM_H) + (H l \times CSM)} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$N_e = \left[\frac{0.23649 \text{ m}}{((2.3709 \times 10^{-8} \text{ m}) \times 0.1501) + ((1.14039 \times 10^{-8} \text{ m}) \times 0.335)} \right]^{\frac{1}{3}} = 317.6$$

$$317.6 \approx 318$$

Por lo tanto es la única interacción ya que el número de emisores propuesto es igual al calculado, si ambos no son iguales habría que hacer

otra, modificando únicamente los coeficientes de salidas múltiples, es decir proponer otro número de emisores; mayor o menor, de acuerdo al primer resultado obtenido. El gasto de la línea regante se determina de la siguiente manera:

$$Q_{lr} = 318(0.4842 \text{ lph}) = 153.9756 \text{ lph}$$

6.4.2. Diseño del distribuidor

El diseño del distribuidor es análogo al de la línea regante, si el distribuidor debe tener líneas regantes en ambos lados el gasto de la misma se multiplica por dos.

$$Q_{lr} = 2(318 \times 1.345 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}) = 8.5542 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

De igual forma que en el diseño de la línea regante desglosamos la ecuación, para determinar el número de estas que debe tener el distribuidor. El número de líneas regantes propuesto es 24, el cual contempla un total de 48 líneas regantes, debido a que el distribuidor tendrá líneas regantes en ambos lados.

$$N_{lr} = \left\{ \frac{\Delta H(\% dt)}{\left[\left(\frac{S_{lr}}{D_{dt}^{4.87}} \right) \left(\frac{Q_{lr}}{0.2785C} \right)^{1.852} \left(\frac{1}{N_{lr}^{0.148}} \right) \left(\frac{1}{2.852} + \frac{1}{2N_{lr}} + \frac{1.852}{12N_{lr}^2} \right) \right] + \left[\left(\frac{8 k_{lr} Q_{lr}^2}{g \pi^2 D_{dt}^4} \right) \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{2N_{lr}} + \frac{1}{6N_{lr}^2} \right) \right]} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

Agrupando las variables y sustituyendo los valores de diseño del distribuidor queda:

$$\Delta H_{dt} = \Delta H(\% dt)$$

$$\Delta H dt = 0.7883 m (0.7) = 0.55181 m$$

$$H f dt = \left(\frac{S_{lr}}{D_{dt}^{4.87}} \right) \left(\frac{Q_{lr}}{0.2785 C} \right)^{1.852}$$

$$H f dt = \left(\frac{(1 m)_{lr}}{(0.0474)^{4.87}} \right) \left(\frac{8.5542 \times 10^{-5} m^3/s}{0.2785(150)} \right)^{1.852} = 8.1925 \times 10^{-5} m$$

$$CSM_H = \left(\frac{1}{N_{lr}^{0.148}} \right) \left(\frac{1}{2.852} + \frac{1}{2N_{lr}} + \frac{1.852}{12N_{lr}^2} \right)$$

$$CSM_H = \left(\frac{1}{(24)^{0.148}} \right) \left(\frac{1}{2.852} + \frac{1}{2(24)} + \frac{1.852}{12(24)^2} \right) = 0.23225$$

$$Hl = \frac{8 k_{lr} Q_{lr}^2}{g \pi^2 D_{dt}^4}$$

$$Hl = \frac{8 (0.5)(8.5542 \times 10^{-5} m^3/s)^2}{9.81 m/s^2 (3.1416)^2 (0.0474 m)^4} = 5.9887 \times 10^{-5} m$$

$$CSM = \frac{1}{3} + \frac{1}{2N_{lr}} + \frac{1}{6N_{lr}^2}$$

$$CSM = \frac{1}{3} + \frac{1}{2(24)} + \frac{1}{6(24)^2} = 0.3544$$

Acomodando los términos y sustituyendo los valores resulta:

$$N_e = \left[\frac{\Delta H l r}{(H f l r \times CSM_H) + (Hl \times CSM)} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$N_e = \left[\frac{0.55181 \text{ m}}{((8.1925 \times 10^{-5} \text{ m}) \times 0.23225) + (5.9887 \times 10^{-5} \text{ m} \times 0.3544)} \right]^{\frac{1}{3}} = 23.9$$

Por lo tanto es la única la interacción que se hizo ya que el número de emisores calculado es igual al propuesto ($23.9 \approx 24$).

6.4.3. Gasto y superficie de la sección.

Gasto de la sección (Q_s):

$$Q_s = N_{lr} \times 2(N_e) \times Q_e = 24 \times 2(318) \times 0.4842 \text{ lph} = 2.05 \text{ lps}$$

Superficie ($Sup.$):

$$Sup. = Longitud \text{ lr} \times Longitud \text{ distribuidor}$$

$$Sup. = 2(318 \times 0.2\text{m}) \times 24(1\text{m}) = 3052.8 \text{ m}^2 = 0.30528 \text{ Ha}$$

En la figura 5 muestra dos veces la misma sección que calculamos, las cuales forman la unidad de riego diseñada con la ecuación de *Hazen & Williams*.

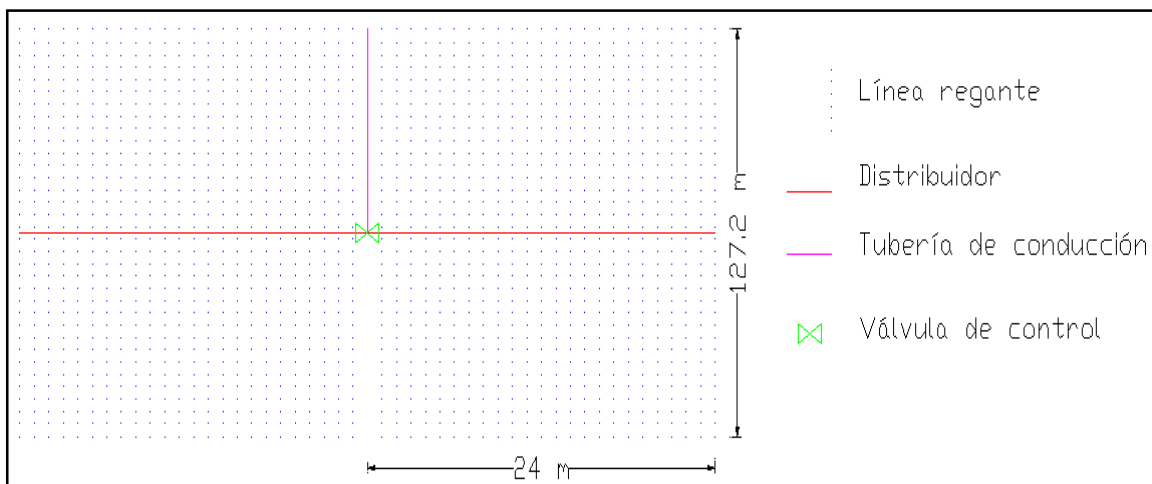


Figura 5. Unidad de riego compuesta por dos secciones previamente diseñadas.

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

7.1. Ecuaciones propuestas para el diseño de la sección.

Las ecuaciones propuestas contemplan la pérdida de carga por fricción, pérdida de carga localizada, coeficiente de salidas múltiples de *Manning*, mientras que a *Hazen & Williams* se le integro su respectivo coeficiente de salidas múltiples, en sí las ecuaciones tienen las mismas variables, solo difieren el factor de fricción y coeficiente de fricción que son propias de cada una.

7.1.1. Ecuación de *Darcy & Weisbach*.

Para el diseño de la línea regante.

$$N_e = \left[\frac{\Delta H(\% lr)}{\left(f \frac{S}{D_{lr}} + k_e \right) \left(\frac{8Q_e^2}{g\pi^2 D_{lr}^4} \right) \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{2N_e} + \frac{1}{6N_e^2} \right)} \right]^{\frac{1}{3}}$$

Para el diseño del distribuidor.

$$N_{lr} = \left[\frac{\Delta H(\% dt)}{\left(f \frac{S_{lr}}{D_{dt}} + k_{lr} \right) \left(\frac{8Q_{lr}^2}{g\pi^2 D_{dt}^4} \right) \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{2N_{lr}} + \frac{1}{6N_{lr}^2} \right)} \right]^{\frac{1}{3}}$$

7.1.2. Ecuación de *Hazen & Williams*.

Para el diseño de la línea regante.

$$N_e = \left\{ \frac{\Delta H(\% lr)}{\left[\left(\frac{S}{D_{lr}^{4.87}} \right) \left(\frac{Q_e}{0.2785C} \right)^{1.852} \left(\frac{1}{N_e^{0.148}} \right) \left(\frac{1}{2.852} + \frac{1}{2N_e} + \frac{1.852}{12N_e^2} \right) \right] + \left[\left(\frac{8 k_e Q_e^2}{g\pi^2 D_{lr}^4} \right) \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{2N_e} + \frac{1}{6N_e^2} \right) \right]} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

Para el diseño del distribuidor.

$$N_{lr} = \left\{ \frac{\Delta H(\% dt)}{\left[\left(\frac{S_{lr}}{D_{dt}^{4.87}} \right) \left(\frac{Q_{lr}}{0.2785C} \right)^{1.852} \left(\frac{1}{N_{lr}^{0.148}} \right) \left(\frac{1}{2.852} + \frac{1}{2N_{lr}} + \frac{1.852}{12N_{lr}^2} \right) \right] + \left[\left(\frac{8 k_{lr} Q_{lr}^2}{g\pi^2 D_{dt}^4} \right) \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{2N_{lr}} + \frac{1}{6N_{lr}^2} \right) \right]} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

7.2. Comparación de las ecuaciones propuestas con la ecuación de *Manning*.

En la comparación, las ecuaciones se alimentaron con datos reales del comportamiento hidráulico de un emisor de cintilla. Los resultados mostrados para número de emisores, son la sumatoria de dos líneas regantes debido que el distribuidor tiene líneas en ambos lados. En el número de líneas regantes en el distribuidor se considera la mitad de las salidas físicas, es decir, si el distribuidor tiene líneas regantes en ambos lados, las salidas físicas son dos por punto de conexión, las cuales forman una línea regante.

En la figura 6 se observa que los resultados calculados con la metodología *Darcy & Weisbach* interceptan las estimaciones obtenidas con *Manning y Hazen Williams*, mientras una sobrestima la otra subestima respectivamente, estas dos últimas tiene un comportamiento paralelo entre sí. Se puede apreciar que la longitud de la línea regante y distribuidor es inversamente proporcional a la presión de operación, es decir, mientras mayor sea, las longitudes disminuyen, debido a que el gasto del emisor es directamente proporcional a la presión de operación y por ende la pérdida de carga por fricción aumenta. Las estimaciones tienden a converger cuando la presión de operación es mayor. En el procedimiento de cálculo de número de emisores se obtienen números de *Reynolds* menores de 2300 por lo que se optó por usar la ecuación de *Poiseuille* para el cálculo del factor fricción, para otros casos es necesario usar formulas que apliquen para el número de *Reynolds* que se encuentre en el procedimiento. En el cuadro 2 se muestra que a medida que aumenta la presión de operación *Darcy & Weisbach* tiende a estimar la línea regante con mayor longitud y el rango de error es mayor al de *Hazen & Williams*, este último se puede decir que lo disminuye en función de la presión. La desviación inicial que tiene la metodología *Darcy & Weisbach* respecto a las demás se debe probablemente a que el factor fricción se considera constante a lo largo de la tubería, cuando en realidad solo pertenece al tramo inicial N , esto se hace con fines de cálculo.

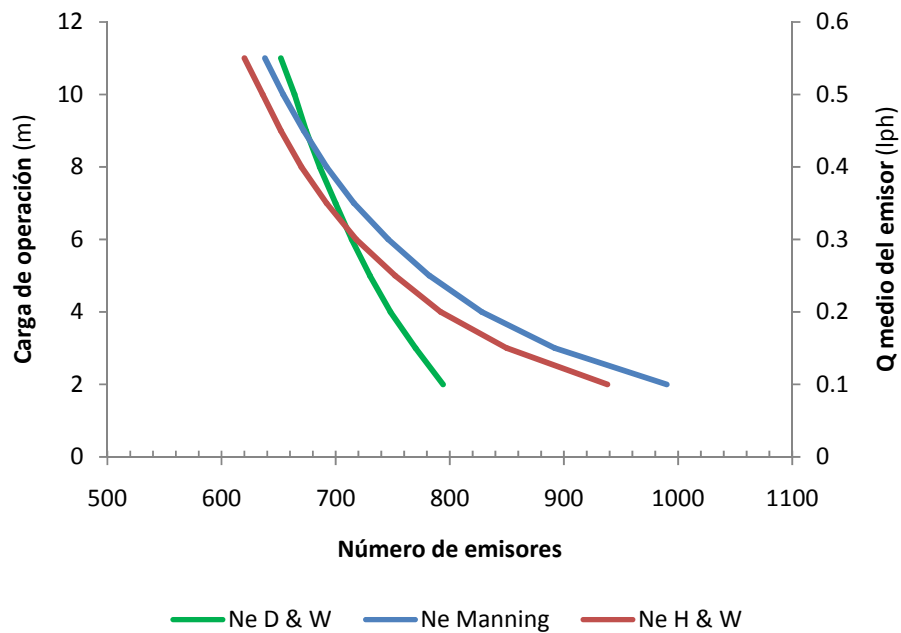


Figura 6. Comparación de número de emisores estimados con diferentes metodologías. UAAAN UL 20111

Cuadro 2. Número de emisores estimados con diferentes metodologías. UAAAN UL 2011

Ho (psi)	Numero de Emisores			Error (%) respecto a Manning	
	Manning	D & W	H & W	D & W	H & W
2	990	794	938	19.798	5.253
3	892	770	850	13.677	4.709
4	828	748	792	9.662	4.348
5	782	730	752	6.650	3.836
6	746	714	718	4.290	3.753
7	716	700	692	2.235	3.352
8	692	686	670	0.867	3.179
9	672	674	652	-0.298	2.976
10	654	664	636	-1.529	2.752
11	638	652	620	-2.194	2.821

K = 0.0907; x = 0.8859; variación de Qe = 10 %; Dlr = 16mm; S = 0.2 m; %lr = 30 %; E = 0.007 mm; n = 0.0079; C = 140; T = 4°C; Pe = 1000 kg/m³; Calculo de "f" con la ecuación de Poiseuille.

Las estimaciones de cada ecuación para el número de líneas regantes en un distribuidor de 47.7 mm. se presentan en el cuadro 2, los resultados en muchos casos coinciden entre *Manning* y *Hazen & Williams*. La variación es de una línea regante en todas las presiones de operación evaluadas, a excepción de la primera donde la diferencia es 2 líneas regantes. El error de la ecuación de *Darcy & Weisbach* es inapreciable y se mantiene constante a presiones de operación mayores a 7 psi (libras por pulgada cuadrada). *Hazen & Williams* sobreestima en todas las presiones evaluadas.

Cuadro 3. Líneas regantes estimadas con diferentes metodologías para un distribuidor de 47.4 mm. de diámetro interior. UAAAN UL 2011

Ho (psi)	Número de líneas regantes			Error (%) respecto a Manning	
	D - W	Manning	H - W	D - W	H - W
2	29	27	27	-7.41	0.00
3	27	26	27	-3.85	-3.85
4	26	25	26	-4.00	-4.00
5	25	25	25	0.00	0.00
6	25	24	25	-4.17	-4.17
7	24	24	25	0.00	-4.17
8	24	24	24	0.00	0.00
9	23	23	24	0.00	-4.35
10	23	23	24	0.00	-4.35
11	23	23	24	0.00	-4.35

K= 0.0907; x= 0.8859; variación de Qe= 10 %; Ddt = 47.4 mm; Slr = 1 m; %Ddt = 70 %; E = 0.0015 mm; n = 0.0079; C = 150; T = 4°C; Pe = 1000 kg/m³; Calculo de "f" con la ecuación de Swamme & Jain.

Las estimaciones de las tres metodologías para número de líneas regantes, donde se puede apreciar que a una presión de operación mayor de 3 psi la diferencia entre las mismas es de una línea regante, cuadro 4.

Referente al error de las ecuaciones propuestas respecto a los obtenidos con *Manning*, este resulta relativamente inapreciable, mientras que *Hazen & Williams* lo mantiene constante en todas las presiones de operación evaluadas *Darcy & Weisbach* hace lo mismo a partir de 4 psi solo que en este el rango de error es mayor.

Cuadro 4. Líneas regantes estimadas con diferentes metodologías para un distribuidor de 72 mm de diámetro interior. UAAAN UL 2011

Ho (psi)	Número de líneas regantes			Error (%) respecto a Manning	
	Manning	D - W	H - W	D - W	H - W
2	51	55	52	-7.843	-1.961
3	49	51	50	-4.082	-2.041
4	48	49	49	-2.083	-2.083
5	47	48	48	-2.128	-2.128
6	46	46	47	0.000	-2.174
7	46	45	46	2.174	0.000
8	45	44	46	2.222	-2.222
9	44	44	45	0.000	-2.273
10	44	43	45	2.273	-2.273
11	44	43	45	2.273	-2.273

K = 0.0907; x = 0.8859; variación de Qe = 10 %; Ddt = 72 mm; Slr = 1 m; %dt = 70 %; E = 0.0015 mm; n = 0.0079; C = 150; T = 4°C; Pe = 1000 kg/m³; Calculo de "f" con la ecuación de Swamme & Jain.

Las diferencias por parte de *Darcy & Weisbach* resultan evidentes en cuanto número de líneas regantes aunque el error en porcentaje sea mínimo esto debido a la cantidad estimada, cuadro 5.

Cuadro 5. Líneas regantes estimadas con diferentes metodologías para un distribuidor de 105.6 mm de diámetro interior. UAAAN UL 2011

Ho (psi)	Número de líneas regantes			Error (%) respecto a Manning	
	Manning	D - W	H - W	D - W	H - W
2	90	98	91	-8.889	-1.111
3	87	91	88	-4.598	-1.149
4	85	87	85	-2.353	0.000
5	83	84	84	-1.205	-1.205
6	82	81	82	1.220	0.000
7	81	79	81	2.469	0.000
8	80	78	80	2.500	0.000
9	79	77	79	2.532	0.000
10	78	76	79	2.564	-1.282
11	78	75	78	3.846	0.000

K = 0.0907; x = 0.8859; variación de Q = 10 %; D = 105.6 mm; Slr = 1 m; PCD = 70 %; E = 0.0015 mm; n = 0.0079; C = 150; T = 4°C; Pe = 1000 kg/m³; Cálculo de "f" con la ecuación de Swamme & Jain.

VIII. CONCLUSIONES.

Si fue posible generar las metodologías de diseño de riego localizado con las ecuaciones de *Darcy & Weisbach* y *Hazen & Williams*.

Hazen & Williams subestima a *Manning* para el cálculo de número de emisores en la línea regante.

Darcy & Weisbach subestima a menor presión y sobreestima a mayor presión.

A medida que el gasto del emisor aumenta, la diferencia de resultados obtenidos es menor en cuanto a número de emisores se refiere.

El diseño del distribuidor depende de las dimensiones de la línea regante. La metodología que calcula mayor número de emisores, tiende a estimar menor número de líneas regantes, es decir, las estimaciones tienen un comportamiento inverso al de número de emisores.

La metodología *Darcy & Weisbach*, es tediosa debido a las múltiples interacciones que se hacen en el procedimiento para determinar el número de emisores o líneas regantes.

La metodología *Darcy & Weisbach* puede ser la mejor para el diseño de tuberías con salidas múltiples equidistantes. El uso de la ecuación apropiada para el cálculo del factor fricción a consecuencia del número de *Reynolds*,

IX. RECOMENDACIONES.

- En la metodología *Darcy-Weisbach* se puede usar cualquier ecuación para el cálculo del factor fricción siempre y cuando aplique para el régimen de flujo de la línea regante o distribuidor determinado por el número de *Reynolds*.
- Para flujo laminar se recomienda la ecuación de *Poiseuille* mientras que para turbulento la ecuación de *Swamme - Jain* o *Colebrook - White*.

Es conveniente programar las ecuaciones, para ahorrar tiempo, evitar errores y sobre todo para obtener resultados precisos. El éxito en el diseño de la sección se refleja en la operación de la misma, y es resultado de la habilidad del diseñador para integrar todas las variables que involucra el procedimiento.

X. LITERATURA CITADA.

- Anwar A., A. 1999. Adjusted Factor G_a for Pipelines with Multiple Outlets and outflow. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*.
- Becerra G., J. 2010. Modelo "Unirriego" para diseño de unidades de riego localizado. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). p.50.
- Burull N., G. R. 2009. Suma de potencias.
- Coras M., P. 1993. Riego por aspersion. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo México (UACH).
- Christiansen, J. R. 1942. Irrigation by Sprinkling. California Agricultural Experimental Station. Bulletin N°. 570. USA.
- Churchill, S. W. (1977). "Friction-factor equation spans all fluid-flow regimes." *Chem. Engrg.*, 84(24), 91–92.
- Detar, W. R. (1982). "Modified graphical determination of submain size." *Trans. ASAE*, 25(3), 695–696.
- Keller, J. and Bliesner, R. D. *Sprinkle and Trickle Irrigation*. New York, N.Y.: Van Nostrand Reinhold, 1990, 652.
- Losada V., A. 2009. El Riego "Fundamentos Hidráulicos". 4ª edición. Ediciones Mundi – Prensa (Madrid – Barcelona – México), p. 31.
- Ferreyra, R. y Selles, G. 1994. Diseño de Sistemas de Distribución y Métodos de Riego. En: II Curso Internacional Diseño de Proyectos de Riegos y Drenajes. Santiago, 4-25 de octubre de 1994.
- Lozada L., V. 2000. El riego "Fundamentos Hidráulicos". 3ª Edición.

- Martínez A., F. 2005. Pérdidas de carga en tuberías, coeficientes de fricción, IV Jornada sobre Tuberías de Hormigón Armado y Postesado. CEDEX. Madrid.
- Mataix C., 1982. Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas, 2ª Edición. Edición OXFORD University Press.
- Peralta A., J. M. 2001. Riego por aspersión. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Chile.
- Ramírez C., C. E. y M. E. Escobar A. 1978. Funcionamiento hidráulico de accesorios y dispositivos de sistemas de riego por goteo, II Seminario Nacional sobre Riego por Goteo Memorias Tomo 1, Región Lagunera Coah. y Dgo. México. pp. 43-54
- Ramírez C., C. E., M. A. Escobar A. y L. Moreno D. 1978. Funcionamiento hidráulico de líneas regantes. Memorias del II Seminario Nacional sobre Riego por Goteo. Tomo 1. Región Lagunera, Coah. y Dgo. México. p 55-75.
- Román L., A. 2007. Diseño de sistemas de riego con programa de computo, folleto científico 22. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmosfera (CENID RASPA INIFAP). Gómez Palacio, Dgo., México.
- Saldarriaga J., 2007. Hidráulica de Tuberías, "Abastecimiento de agua, Redes, riegos". Universidad de los Andes. pp. 45, 153.
- Sotelo A., G. 1982. Hidráulica general. Volumen 1. Fundamentos. Editorial Limusa. México, D. F.
- White M., F. 1988. Mecánica de fluidos. Edición McGraw-Hill.