



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE**  
**FACULTAD DE CONSTRUCCIONES**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA HIDRÁULICA**

**TÍTULO:** Influencia de las aproximaciones en el diseño hidráulico de sistemas de Riego Localizado.

**AUTOR:** Francisco Fuentes Griñán.

**TUTORES:** Dr. C. Pável Vargas Rodríguez.

MSc. Ing. Rafael Pacheco Moya.

MSc. Ing. Raúl A. Álvarez Andión.

## **Dedicatoria**

A mis padres Onelvis y Giorvelis.

A la memoria de mi abuelo Francisco.

A mis abuelos Juana, Emiliano y Gladis.

A mi tía Delvis.

A mi hermano Giorvis.

A la Revolución.

“A MI VOLUNTAD”

## **Agradecimientos**

A Dios por su bendición durante toda mi vida.

A mis padres, hermano y abuelos por su sacrificio y esfuerzo, por ser pilares fundamentales y ejemplos a seguir.

A toda mi familia en general por todo el amor, apoyo y confianza que me han brindado en la vida.

A todos mis compañeros de la residencia estudiantil, en especial a Andys, Lázaro, Darsis Deisy, Carmen María, Lisbet y Betsis.

A mi tutor: Dr. C. Pável Vargas Rodríguez por su amistad, guía profesional y dedicación durante todo el proyecto.

Y a todas las personas que hicieron posible este Trabajo de Diploma.

## RESUMEN

La práctica del diseño ha demostrado que el diseño hidráulico simplificado de sistemas de riego localizado, puede influir negativamente en el uso racional eficiente de los recursos naturales implicados en la producción de alimentos, en las actuales condiciones ambientales caracterizadas por el calentamiento global. En este sentido la pretensión del trabajo consiste en identificar a partir de un estudio de caso real, la influencia de las aproximaciones realizadas durante el diseño hidráulico de la instalación sobre la uniformidad de distribución de los emisores dentro de la parcela de riego. Se utilizó el procedimiento propuesto por Keller y Rodrigo en 1974 y se empleó el método hipotético – deductivo para definir criterios para evaluar la influencia de las aproximaciones en la uniformidad de distribución en la parcela de riego. Se empleó el método analítico para el cálculo de la combinación de diámetros y tramos de tuberías más convenientes dentro de la parcela de riego, así como el régimen de presiones asociado. Como resultado principal se obtuvieron los parámetros que definen el régimen de presiones en la parcela de riego para las dos variantes. Esto permitió seleccionar la variante B como la más conveniente para realizar el diseño de sistemas de riego localizado

**Palabras claves:** riego localizado, emisor autocompensante, diseño hidráulico.

## ABSTRAC

Design practice has shown that the simplified hydraulic design of localized irrigation systems can have a negative influence on the efficient rational use of the natural resources involved in food production in the current environmental conditions characterized by global warming. In this sense, the aim of this work is to identify, based on a real case study, the influence of the approximations made during the hydraulic design of the installation on the uniformity of the distribution of the emitters within the irrigation plot. The procedure proposed by Keller and Rodrigo in 1974 was used and the hypothetical-deductive method was employed to define criteria to evaluate the influence of the approximations on the distribution uniformity in the irrigation plot. The analytical method was used to calculate the most suitable combination of diameters and pipe sections within the irrigation plot, as well as the associated pressure regime. As a main result, the parameters defining the pressure regime in the irrigation plot for the two variants were obtained. This made it possible to select variant B as the most suitable for the design of localized irrigation systems.

**Key words:** localised irrigation, self-compensating emitter, hydraulic design.

<b>ÍNDICE</b>	<b>Pág.</b>
<b>Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>Capítulo I.- Revisión Bibliográfica.....</b>	<b>6</b>
I.1.- Generalidades de los sistemas de Riego Localizado.....	7
I.1.1.- Definición.....	8
I.1.2.- Clasificación.....	8
I.1.3.- Componentes.....	10
I.1.4.- Ventajas e inconvenientes.....	12
I.1.5.- Características generales.....	13
I.1.6.- Criterios de selección.....	16
I.3.- Fundamentos teóricos del diseño hidráulico.....	17
I.3.1.- Teoría hidráulica de los dispositivos de emisión.....	18
I.3.2.- Criterio de uniformidad de aplicación del riego.....	21
I.3.3.- Introducción al procedimiento para el diseño hidráulico.....	23
I.4.- Conclusiones parciales.....	26
<b>Capítulo II. Materiales y Métodos.....</b>	<b>27</b>
II.1.- Caracterización del caso de estudio.....	28
II.2.- Enfoque de cálculo. Variantes de diseño.....	28
II.2.1.- Fuente de abasto.....	30
II.2.2.- Datos del Suelo.....	31
II.2.3.- Características del cultivo a beneficiar.....	31
II.2.4.- Agregados de riego.....	31
II.3.- Datos básicos para el diseño.....	32
II.3.1.- Procedimientos para el diseño hidráulico.....	33
II.3.2.- Resultados.....	37
II.3.3.- Análisis.....	38
Conclusiones finales y Recomendaciones.....	40
Referencias Bibliográficas	

## INTRODUCCIÓN

En el desarrollo de los cultivos y por consiguiente en la obtención de altos y estables rendimientos en los mismos, juega un papel primordial el agua. Cuando las precipitaciones no son suficientes ni frecuentes es necesario que las plantas reciban una dosis adicional de agua, un método simple y muy antiguo era el de aplicar el agua a las plantas por medio de regaderas o cubetas de riego, pero el mismo fue restringiendo su campo de aplicación debido a lo trabajosas y extensas que se tornaban las labores en la medida que las áreas tomaban proporciones significativas. Nuevos y más sofisticados métodos de riego se implementaron a través de los años, tales son: RIEGO SUPERFICIAL, RIEGO POR ASPERSION Y RIEGO LOCALIZADO. De estos métodos que son los más comúnmente usados, cada usuario debe conocer cual se adapta mejor a sus condiciones, aunque desafortunadamente en muchos casos esta no es una elección sencilla, ya que no existe un método de riego idóneo para todos los cultivos, suelos, clima, etc. En este curso se estudiará el último de estos métodos, el cual es el más joven y discutido de todos, ya que enfrenta las reglas impuestas por los muy bien llamados métodos tradicionales, clásicos o convencionales de riego. El Riego Localizado es muy adecuado para cultivos en hileras, cítricos, hortalizas, frutales, cultivos arbóreos y la vid. Aunque su campo de aplicación esta en continuo crecimiento, por lo general se toman cultivos de gran valor comercial, debido al alto costo inicial que estos sistemas implican. Según datos de EU, el costo unitario de construcción varia de 1000 a 3000 USD. Los sistemas RLAF se caracterizan por dos hechos fundamentales: La localización y la alta frecuencia, aunque existe también una tercera característica sin la cual no puede ser concebido este método de riego, la Fertirrigación, la misma no es una exclusiva de los riegos localizados, más bien es una consecuencia del enorme éxito alcanzado por estos sistemas y por lo tanto protagonista de la revolución tecnológica que ha supuesto este nuevo método de riego.

Desde la antigüedad el agua ha sido un factor determinante de la producción agrícola. Una gran parte de las extensiones cultivables del mundo tienen un gran déficit de agua. Para resolver estas situaciones se han diseñado técnicas de riego que pretenden ser más eficientes en la conservación del agua y su manejo. Una de las más utilizadas y de mayor éxito es la de **riego localizado**

que se fundamenta en la aplicación del agua de riego sobre el suelo o bajo él, utilizando una red de tuberías a presión y emisores de agua de manera que sólo se moja una parte del suelo. El agua aplicada por cada emisor moja un volumen de suelo denominado bulbo húmedo. Este método de riego permite un ahorro importante de agua con respecto a otros métodos (aspersión y superficie). En general tiene una buena uniformidad de aplicación, lo que permite aportar fertilizantes. Sin embargo, la inversión inicial necesaria en estos sistemas suele ser elevada, a lo que se añade el costo de mantenimiento de la red como consecuencia fundamentalmente del riesgo de obturación de emisores. Las dimensiones y forma del bulbo húmedo dependen básicamente del tipo de suelo, del volumen de agua aplicado y del caudal del emisor. Es un método de riego recomendado cuando el agua sea salina y no pueda aplicarse otro tipo de riego, ya que las sales tienden a acumularse fuera del alcance de las raíces. Es recomendable, además, que cada riego lleve el agua de lavado necesaria para evitar la acumulación de sales y que el cultivo se vea afectado. En las condiciones meteorológicas actuales, caracterizadas por la alternancia de fenómenos naturales adversos como consecuencia directa del Cambio Climático, son significativas las afectaciones en las producciones agrícolas de la mayoría de los escenarios de uso. Unido a esto, varios aspectos relacionados con el diseño de los sistemas de riego y que conllevan afectaciones en el manejo a posteriori de estas instalaciones, ponen en riesgo la rentabilidad en los rendimientos de las plantaciones. En este contexto, el presente trabajo de Diploma surge como una modesta contribución que aborda las implicaciones que tienen las aproximaciones que se realizan durante el procedimiento de diseño de los sistemas de riego localizado. Aspectos como las simplificaciones de las pérdidas locales, el desconocimiento de la pertinencia de las pruebas de campo como paso previo al diseño de sistemas de riego por goteo, la limitada precisión en la calidad y contenido de la información básica necesaria y el limitado alcance y contenido de las memorias descriptivas de los Proyectos de riego y drenaje, afectan la eficiencia en el uso del agua de riego en los sistemas y conllevan a la desvalorización de las fuentes de abasto de uso agrícola, con la consecuente afectación a los recursos hídricos en el territorio santiaguero.

La situación problemática que argumenta esta investigación se puede resumir en:

1. La utilización en determinados casos del criterio de uniformidad de Christiansen, para realizar el diseño hidráulico de la parcela de riego en lugar del criterio de uniformidad propuesto por Keller y Karmelli.
2. El empleo de tablas confeccionadas para condiciones específicas para estimar las pérdidas locales producidas en accesorios de la red de riego.
3. El uso del 77% de las pérdidas por rozamiento en los tramos rectos para simplificar el cálculo de las presiones en la parcela de riego, así como la utilización de coeficiente de pérdidas por salidas múltiples uniformemente espaciadas para estimar las pérdidas de presión en las tuberías laterales.

Estos elementos conllevan a definir el objetivo de la investigación en identificar la influencia de las aproximaciones realizadas durante el diseño hidráulico de la instalación sobre la uniformidad de distribución de los emisores dentro de una parcela de riego dentro del sistema de riego localizado.

Ante esta situación, la presente interrogante identifica el **Problema de la Investigación** ¿Cómo repercute la utilización de aproximaciones durante el diseño de sistemas de riego localizado en la precisión de los parámetros que infieren el uso racional del agua de riego en las plantaciones agrícolas? Para abordar la solución de este problema, se identifica el **Objeto de la Investigación** en las particularidades de los fundamentos teóricos del diseño de los sistemas de riego localizado de alta frecuencia, en lo particular, el **Campo de Acción de la Investigación**, aborda las aproximaciones introducidas en el procedimiento de diseño para simplificar los cálculos agronómicos e hidráulicos de los sistemas de riego localizado y agilizar la entrega de los Proyectos de las instalaciones.

Esta pretensión conlleva a formular el siguiente **Objetivo General**: Caracterizar las consecuencias que para el adecuado uso de los parámetros de explotación de los sistemas de riego localizado implica la aplicación de aproximaciones durante el procedimiento de diseño agronómico e hidráulico. Los aspectos que le siguen identifican los **Objetivos Específicos** a lograr en diferentes momentos de la investigación:

1. Actualizar los aspectos fundamentales que inciden en el diseño de sistemas de riego localizado, con énfasis en el fundamento teórico y en las simplificaciones introducidas en la práctica del diseño.

2. Identificar la información básica necesaria para aplicar los procedimientos de diseño a dos variantes diferentes, aplicando y sin aplicar aproximaciones durante los cálculos.
3. Comparar los resultados y especificar su influencia en la calidad de los parámetros de explotación de los sistemas de riego localizado.

#### **Hipótesis de la Investigación.**

Si se caracterizan las consecuencias que implica el uso de aproximaciones en el procedimiento para dimensionar sistemas de riego localizado, se contribuye a mejorar la precisión de los parámetros de explotación obtenidos en los Proyectos de riego de las instalaciones.

#### **Aportes de la Investigación.**

1. Los resultados obtenidos pueden utilizarse como apoyo a la docencia de pregrado que se imparte en el tercer año de la carrera de Ingeniería Hidráulica, así como en las variantes de posgrado relacionados con los contenidos del Disciplina Riego y Drenaje que imparte el Departamento en la entidades de proyectos de la agricultura en el territorio centro oriental.
2. El análisis de los resultados de la investigación contribuye concretar una de las salidas del PI: “Valorización de la eficiencia en el uso del agua de riego en la Empresa Agropecuaria Laguna Blanca” aporta elementos que identifican causas de la baja eficiencia en el uso del agua de riego que existe en las plantaciones agrícolas del territorio Agricultura.

#### **Estructura del trabajo de diploma**

La parte técnica del trabajo de diploma está compuesta por una Introducción, tres capítulos y las Conclusiones y Recomendaciones:

En el capítulo I se abordan aspectos generales de las principales técnicas de riego que se incluyen en el método de riego localizado de alta frecuencia, se hace énfasis en las características fundamentales de cada una de ellas, su definición y componentes principales, las ventajas e inconvenientes de su utilización, así como los criterios de selección de las mismas, enfocado en el complejo Agua – Suelo – Planta – Clima, el cual constituye el punto de partida técnico más empleado en la práctica para la implementación de sistemas de regadíos en plantaciones agrícolas. Se actualizan además los fundamentos teóricos que sustentan el procedimiento de diseño agronómico e hidráulico de los sistemas de riego localizado de alta frecuencia. El capítulo II está referido a

los datos básicos necesarios para realizar el diseño agronómico e hidráulico de la instalación, identificando en cada caso lo establecido en la fundamentación teórica y lo utilizado en la práctica del diseño con la introducción de las aproximaciones en el cálculo. Se incluye en este capítulo la aplicación de los procedimientos de diseño a dos variantes diferentes, aplicando y sin aplicar aproximaciones durante los cálculos. El 3er capítulo describe los resultados obtenidos en cada variante y refiere un análisis de los mismos, teniendo en cuenta su efecto en la estimación rigurosa de los parámetros necesarios para manejo adecuado de las instalaciones, así como su repercusión en el comportamiento de los recursos hídricos el territorio en las condiciones climatológicas actuales.

Al finalizar se abordan las Conclusiones donde se da respuesta a la hipótesis enunciada inicialmente, así como al objetivo general y los específicos de la investigación. Se incluye en las conclusiones la opinión del diplomante con respecto a los resultados obtenidos.

Las Recomendaciones deben enumerarse en orden consecutivo, y recoger los principales aspectos o resultados, identificados de importantes, y que deberán ser sugeridos para ser estudiados más profundamente o resueltos posteriormente. Pueden constituir temas para nuevas tesis.

Los contenidos de este Informe de tesis complementan los referentes iniciales de una serie de publicaciones a desarrollar por profesores del Departamento que abordan la eficacia de los procedimientos de diseño de sistemas de riego localizado y contribuyen a la concreción del segundo resultado del Proyecto de Investigación: PS113LH001 032 Evaluación de la eficiencia en el uso del agua de riego en la Empresa Agropecuaria Laguna Blanca, como parte del Programa Sectorial de Ciencia, Tecnología e Innovación titulado: Gestión integrada y sostenible de los recursos hídricos, que responde a perfeccionar el modelo de gestión de los recursos hídricos desde la ciencia, la tecnología y la innovación para satisfacer las necesidades impostergables de la sociedad cubana.

# **CAPÍTULO I.**

## **REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### I.1.- Generalidades de los sistemas de Riego Localizado.

Hasta donde se conoce la concepción de este método de riego se debe a Israel, aunque existen algunas bibliografías que plantean que el Riego Localizado se utilizó por primera vez en Inglaterra al final de la década del 40 y que posteriormente se implantó en tierras israelíes en la década de los 50. No obstante es precisamente este país uno de los que más ha avanzado en el desarrollo del mismo, considerándose por muchos autores los creadores de este método de riego.

Su importancia comercial se desarrolla en la década de los 60 a continuación de los trabajos de puesta a punto realizados en esta nación árabe y de la aparición de las tuberías de material plástico a bajo costo. Las primeras aplicaciones en parcelas se realizaron en regiones desérticas donde los métodos clásicos daban resultados poco satisfactorios debido a la naturaleza del suelo y de las aguas. En estas condiciones los sistemas RLAF han dado resultados muy esperanzadores en relación con los sistemas de riego superficiales o por aspersión.

Por otra parte estos sistemas despiertan un gran interés por méritos propios ya que aparecen como oponente potencial a los métodos de riego clásicos. Como conclusión se puede considerar el RLAF como una alternativa práctica a los métodos tradicionales de riego, bien concebido y utilizado este es el método más eficiente de distribución y entrega de agua a las plantas, al mismo tiempo que es la técnica ideal para el suministro de elementos fertilizantes.

Algunos autores plantean que las normas de riego disminuyen desde un 20-25 % con relación a los demás métodos de riego, el coeficiente de uso útil del agua de riego es del 85-95 % y según datos obtenidos en Australia los RLAF permiten un ahorro de fertilizantes Nitrogenados de 30-40 % en comparación con la aspersión y del 40-70 % en comparación al riego superficial.

No obstante, conviene en cada caso particular evaluar las ventajas e inconvenientes en comparación a los métodos clásicos. La decisión final debe tomarse en función del rendimiento neto esperado y los costos de amortización y explotación

### **I.1.1.- Definición.**

(Pizarro, 1987) refiere que estos sistemas consisten en aplicar agua al suelo a muy bajos caudales, a través de un sistema de tuberías plásticas de pequeños diámetros en los cuales están fijados los emisores, estos transportan el agua muy cerca de las plantas de modo que solo se humedezca una parte del suelo en la cual se desarrollan la mayoría de las raíces, con esto se pretende que estas tomen de ese volumen aplicado el agua y los nutrientes que le hacen falta para su desarrollo.

### **I.1.2.- Clasificación.**

Este mismo autor propone la siguiente clasificación.

De bajo caudal 16 L/h	Por goteo
	Por exudación
De alto caudal (16-150)L/h	Por microaspersión

Goteo: Es el sistema de riego localizado más popular, según el cual el agua circula a presión por la instalación hasta llegar a los emisores o goteros, en los que pierde presión y velocidad, saliendo gota a gota. Son utilizados normalmente en cultivos con marco de plantación amplio (olivar, frutales, etc.) aunque también se usan en cultivos en línea (algodón, coliflor, repollo, patata, etc.).(Gómez, 2010). En Cuba se utilizan mayormente para el riego de cultivos cítricos y frutales , así como en las instalaciones de la agricultura Urbana para el beneficio de hortalizas y vegetales. La siguiente foto muestra un ejemplo.



**Foto No. 1.- riego por goteo, (Pereira, 2010)**

Microaspersión: El agua se aplica sobre la superficie del suelo en forma de lluvia muy fina, mojando una zona determinada que depende del alcance de cada emisor. Están indicados tanto para cultivos leñosos como para cultivos herbáceos de distinto marco de plantación. En este sistema de riego se

distinguen los emisores denominados microaspersores y los denominados microdifusores. En ambos casos suelen trabajar a presiones entre 98 y 196kPa suministran caudales de hasta 200 L/h. (Gómez, 2010) En Cuba se utilizan mayormente para el riego de variedades de plátano fruta y otros cultivos varios, también para el riego de algunas hortalizas y vegetales de la Agricultura Urbana. La foto No.2 que le sigue muestra un ejemplo.



**Foto No. 2.- Riego por microaspersión, (Pereira, 2010)**

Exudación: Se caracteriza al igual que la microaspersión, por la instalación de sus elementos sobre la superficie del suelo creando una banda continua de suelo humedecido y no en puntos localizados como en riego por goteo. Su uso más frecuente es en cultivos en línea con muy poca distancia entre plantas (caña de azúcar), las más utilizadas son las tuberías goteadoras y las tuberías exudantes. (Gómez, 2010). En Cuba se ha utilizado escasamente con propósitos experimentales.



**Foto No. 3.- Riego por exudación, (Pereira, 2010)**

Desde el punto de vista del diseño hidráulico la clasificación establece un criterio más cómodo para la docencia, en el cual estos sistemas se agrupan de acuerdo al tipo de dispositivo de emisión del caudal en:

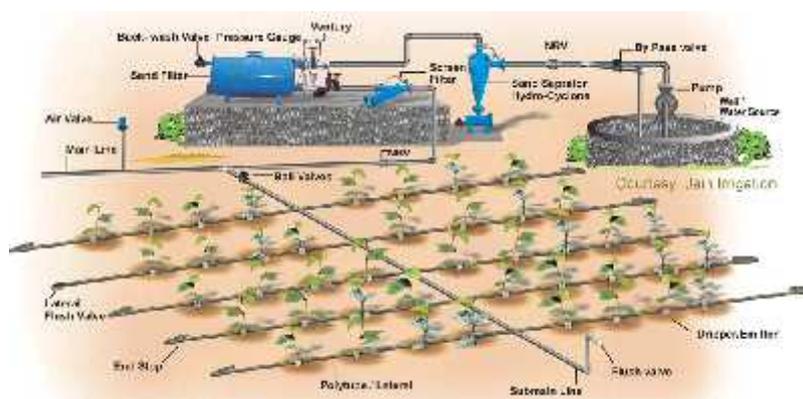
1. Sistemas de riego con emisores autocompensantes.
2. Sistemas de riego con emisores no autocompensantes.
3. Sistemas de riego con emisores porosos.

Esta clasificación se justifica por la importancia que representan los emisores en el funcionamiento eficiente de la instalación. En los epígrafes que le siguen se abordará la teoría hidráulica que rige el funcionamiento de los mismos.

### I.1.3.- Componentes.

(Pizarro, 1987), citado por Vargas (2005) refiere que un sistema de Riego Localizado está formado por los siguientes elementos:

4. Sistema de impulsión.
5. Centro de Control.
6. Tuberías y Piezas Especiales.
7. Emisores.



**Foto 4.- Componentes del sistema de riego localizado,**(Pereira, 2010)

Sistema de impulsión: Es aquel que toma el agua de la fuente de abasto y le proporcionan la presión necesaria para que circule a través de todo el sistema de tuberías, garantizando a su vez que los emisores entreguen el caudal deseado. En algunos casos pueden ir acompañadas de un equipo de prefiltrado del agua. De forma general se emplean bombas centrífugas horizontales de flujo radial.

Centro de Control o Cabezal: Es el conjunto de aparatos que domina la unidad rotacional, aquí se puede filtrar el agua, tratarla, agregar fertilizantes, inspeccionar las presiones, evaluar dosis de riego, etc. En Cuba los más usados incluyen filtros de Arena y Malla y en algunos casos se presentan combinados con Hidrociclones, la capacidad de filtrado oscila entre 5 y 20 L/s. Es el elemento central de la instalación, su composición puede variar según que los fertilizantes se apliquen en el propio cabezal o que la aplicación de fertilizantes se realice en el origen de las unidades de riego. Están compuestos por: Equipo para el tratamiento de agua; Filtros de arena; Equipo de

fertirrigación; Filtros de malla y Equipos de medición de caudal y presión.

Tuberías y Piezas Especiales: Constituyen la sucesión de tubos, piezas especiales y dispositivos convenientemente unidos de modo que formen un conducto cerrado, estos últimos son unidades que permiten cambios de dirección, empalmes, derivaciones, variaciones de sección, etc. Las tuberías más usadas para la conducción de agua de los sistemas RLAF son las de Policloruro de Vinilo nocrystalizado(PVC) y las de Polietileno(PE), de hecho, el gran desarrollo de estos sistemas de riegos en los últimos años se debe sobre todo a la aparición de estos tipos de tuberías.

Emisores: Los emisores son tal vez los componentes más importantes de las instalaciones de riego y los más delicados. Toda la dificultad de un diseño constructivo radica en que estos deben proporcionar un caudal bajo, con el propósito de que las tuberías laterales y distribuidoras se diseñen con diámetros reducidos debido a que es en estas tuberías donde radica fundamentalmente el alto costo de inversión inicial de estos sistemas y un ligero incremento en su diámetro puede incrementar sensiblemente los costos. Por otra parte, la presión de entrega de los emisores no debe ser muy baja para minimizar el efecto que sobre la uniformidad de riego tienen los desniveles del terreno y las pérdidas de carga a lo largo de los laterales y distribuidoras. Estas condiciones conducen desde el punto de vista hidráulico a emisores en los que el paso del agua sea pequeño, lo cual también está en contradicción con otra condición que deben cumplir los emisores: Su diámetro de paso debe ser lo mayor posible para evitar las obturaciones, que son el principal problema en el manejo de los sistemas de riego localizado. Esta dificultad ha sido resuelta por los fabricantes ya que han desarrollado una gran variedad de emisores. (Pizarro, 1987)

Según este mismo autor las características principales que deben cumplir estos emisores se resumen en:

1. Caudal uniforme y constante, pocos sensibles a la variación de presión.
2. Poca sensibilidad a la obstrucción.
3. Elevada uniformidad de fabricación.
4. Resistencia a la agresividad química y ambiental, así como a las operaciones agrícolas.
5. Bajo costo.

6. Estabilidad caudal-presión a lo largo de tiempo.
7. Poca sensibilidad a los cambios de temperatura.
8. Reducida pérdida de carga en el sistema de conexión.

#### **I.1.4.- Ventajas e inconvenientes.**

Este método de riego facilita un ahorro importante de agua con respecto a los sistemas de riego superficial y por aspersion, según (Gómez, 2010) el mayor o menor ahorro se fundamenta en general en: *La posibilidad de controlar fácilmente la lámina de agua aplicada; La reducción, en la mayoría de los casos, de la evaporación directa; La ausencia de escorrentía; El aumento de uniformidad de aplicación, al reducir la filtración profunda o percolación;* De acuerdo con (Pizarro 1987) las principales ventajas de este método de riego son:

1. Una gran ventaja de los RLAF sobre los otros métodos de riego tradicionales es que facilita la explotación del sistema ya que no entorpece las labores aerotécnicas del cultivo.
2. En los sistemas RLAF se economiza tiempo y mano de obra. Bien concebidos, contruidos correctamente y con todos sus componentes trabajando eficientemente puede funcionar muy bien con una fuerza de trabajo reducida, esto es muy conveniente cuando la mano de obra es muy escasa o costosa.
3. La lucha contra las malas hierbas y enfermedades que perjudican los cultivos se hace más fácil en estos sistemas y es menos costosa que en los sistemas con técnicas de riego convencional.
4. Su uso ha dado resultados eficientes en los llamados suelos difíciles (muy pesados o muy permeables), además se ha comprobado su alta eficiencia de entrega en terrenos ondulados y con pendientes exageradas.
5. Permite aplicar altas frecuencias de riego al tiempo que es posible medir los caudales de entrega en cada tiempo de puesta, esto es conveniente para poder mantener el régimen de humedad deseado en el suelo.
6. En cuanto a la Fertirrigación en los RLAF, podemos decir que es mejor su distribución en el suelo y por tanto la asimilación de nutrientes por parte de las plantas. También es posible adecuar el abonado a las necesidades del momento y con la rapidez necesaria lo cual hace más económica la

distribución de abonos. En conclusión, con los sistemas RLAF se puede ahorrar fertilizantes.

### INCONVENIENTES.

1. Requiere un sistema de filtrado eficaz para evitar las obstrucciones de los emisores, lo cual en determinados casos puede resultar costoso, en la actualidad estas tupiciones están clasificadas y definidas las formas de combatirlas con nuevos equipos de filtrado y con tratamientos del agua para el riego. También se fabrican nuevos tipos de emisores que son menos sensibles a las oclusiones.
2. Existe un aumento en el costo de la inversión inicial en comparación con los sistemas convencionales de riego. Esto debe ser tenido en cuenta por los usuarios que se interesen por aplicar este método de riego y compararse con los beneficios que reportarían los rendimientos esperados.
3. Al igual que el fertirriego es inherente de los sistemas RLAF, el régimen de sales obliga a un manejo especial de riegos y lavados. A pesar de que el régimen de sales se ve afectado por la localización y la alta frecuencia a veces es conveniente no detener el riego aun en presencia de lluvias ligeras e incluir cierto exceso en la dosis de entrega o también provocar lavados mediante riegos complementarios por aspersión.
4. Limitado desarrollo radicular de los cultivos, en los sistemas de Riego Localizado la mayoría de las raíces se concentran en la zona húmeda y si esta es demasiado pequeña el enraizamiento puede ser insuficiente lo cual puede afectar los rendimientos y el anclaje de los cultivos, de todas formas, este es un aspecto que se tiene en cuenta en el Diseño Agronómico.
5. Otro inconveniente en estos casos es el hecho de que la planta se hace más dependiente del riego y sufre más la falta de agua por cualquier rotura u otro imprevisto que un riego convencional, esto también es tenido en cuenta al decidir sobre la frecuencia y el tiempo de puesta por posición.

#### **I.1.5.- Características generales.**

1. Las necesidades de agua de los cultivos con RLAF son prácticamente iguales que con otras técnicas de riego, sin embargo con la conducción del agua y su aplicación en la parcela se consiguen importantes ahorros de agua al disminuir las pérdidas por infiltración y escorrentía.

2. La evaporación directa desde el suelo en los RLAF es menor que en los riegos convencionales en cambio la transpiración aumenta ligeramente, esto es una consecuencia del efecto de localización.
3. Los sistemas RLAF pueden aumentar espectacularmente las producciones en suelos arenosos o poco profundos con relación a los métodos convencionales de riego, esto es debido a que con éstos es posible mantener un régimen de humedad adecuado en el suelo sin elevar excesivamente el costo de las operaciones, sin más limitación práctica que cuando se da más de un riego diario es conveniente la automatización del inicio y final del riego.
4. En los RLAF el suelo solo se satura en un volumen muy reducido próximo al emisor esto puede aliviar los problemas de falta de aireación y de la destrucción superficial de la estructura del suelo con la consiguiente formación de costra que se producen en los suelos muy pesados cuando se aplican técnicas de riego convencionales, además, la alta frecuencia con que se operan estos sistemas provoca que se mantenga baja la salinidad del agua del suelo, logrando mantener en niveles adecuados la capacidad de absorción de las raíces.
5. Otra característica muy especial de los RLAF es la Fertirrigación, la cual si bien no es una exclusiva de este método de riego si constituye una necesidad, dado que al solo explorar las raíces una parte del suelo, los nutrientes situados fuera de su alcance no son muy efectivos, además, la gran actividad del bulbo húmedo podría agotar algunos nutrientes si no se repusieran con frecuencia.
6. El agua se aplica al suelo desde una fuente que puede considerarse puntual, se infiltra en el suelo y se mueve en dirección horizontal y vertical. En esto difiere sustancialmente de los métodos de riego clásicos en los que predomina el movimiento vertical
7. Los sistemas de riego por goteo son utilizados normalmente en cultivos con marco de plantación amplio (olivar, frutales, etc.), cultivo en invernadero (tomate, pimiento, pepino, melón, ornamentales), y en algunos cultivos en línea (algodón, coliflor, repollo, patata, etc.). Los goteros suelen trabajar a una presión de aproximadamente 98 kPa y suministran caudales entre 2 y 16 L/h. Lo más frecuente es que las tuberías laterales y los goteros estén

situados sobre la superficie del suelo, y el agua se infiltre y distribuya en el subsuelo, este es el riego por goteo en superficie. En otras ocasiones las tuberías laterales se entierran entre 20 y 70 cm. y los goteros aportan el agua a esa profundidad, conociéndose entonces como riego por goteo subterráneo. La profundidad de enterrado del porta goteros dependerá del tipo de cultivo y del tipo de suelo. Este sistema está basado en la utilización de franjas de humedad que garantizan una buena uniformidad de riego. Tiene como principal inconveniente el riesgo de obstrucción de los goteros y la dificultad de detectar fallos en el funcionamiento de estos así como de su reparación.

8. En el caso del riego por tuberías emisoras: Se caracteriza por la instalación de tuberías emisoras sobre la superficie del suelo creando una banda continua de suelo humedecido y no en puntos localizados como en el riego por goteo. Su uso más frecuente es en cultivos en línea con muy poca distancia entre plantas. Las más utilizadas son las tuberías goteadoras y las tuberías exudantes.
9. Los sistemas de riego con cintas de exudación constituyen tuberías de material poroso que distribuyen el agua de forma continua a través de los poros, lo que da lugar a la formación de una franja continua de humedad, que las hace muy indicadas para el riego de cultivos en línea. Humedecen una gran superficie y es especialmente interesante en suelo arenoso. Puede utilizarse en el riego de árboles. Las presiones de trabajo son menores que las de los goteros. Esto hace necesario el empleo de reguladores de presión, especiales o micros limitadores de caudal, las cintas de exudación se pueden obturar debido a la presencia de algas y a los depósitos de cal (aguas calizas). Por tanto, requieren mantenimientos más frecuentes.
10. En los sistemas de riego por microaspersión, el agua se aplica sobre la superficie del suelo en forma de lluvia muy fina, están indicados tanto para cultivos leñosos como para cultivos herbáceos de distinto marco de plantación. Utilizan emisores que funcionan con presiones entre 98 y 196 kPa suministran caudales de hasta 200 L/h. Son preferibles en suelos de textura arenosa porque cubren más superficie que los propios goteros

tradicionales, por ejemplo, para regar frutales. Este sistema de riego es idóneo para macizos de flores, rosales, pequeñas áreas de riego, etc.

#### **I.1.6.- Criterios de selección.**

(Vargas 2005) de acuerdo con (Pizarro 1987) refiere que de forma general para la selección de cualquier método de riego deben tener en cuenta las características del complejo agua – suelo – planta - clima:

1. Fuente de abasto: Interesan la calidad, la disponibilidad y la accesibilidad de la fuente de abasto. Al evaluar la calidad no solo se deben considerar las propiedades químicas del agua, sino también aquellas que tienen que ver con su procedencia ya que los sistemas de filtrado no son necesariamente los mismos para aguas superficiales que para agua subterráneas. Los volúmenes autorizados a extraer de la fuente de abasto constituyen un factor excluyente de técnicas de riego de baja eficiencia en la utilización del agua de riego, en este sentido las técnicas de riego localizado toman ventaja sobre los métodos de riego convencionales.
2. Suelo: Interesa el tipo de suelo sus propiedades hidrofísicas, la pendiente, la velocidad de infiltración estabilizada, el contenido de sales, el relieve y el drenaje superficial e interno. Las técnicas de RLAF presentan claras ventajas sobre los demás métodos de riego en este aspecto, debido a su adaptabilidad a las condiciones naturales adversas.
3. Tipo de cultivo: Aquí toma ventaja el riego superficial ya que puede utilizarse para cualquier cultivo. Dado su alto costo de inversión inicial el Riego Localizado se debe utilizar en cultivos que permitan con sus rendimientos recuperar la inversión en un tiempo consecuente. Interesan los coeficientes de cultivo, la profundidad radicular, el marco de plantación, la tolerancia a la inundación y a la salinidad y los rendimientos potenciales.
4. Clima: Es de suma importancia saber cuáles son las necesidades netas del cultivo, en otras palabras, que cantidad de agua necesita para su desarrollo, esta depende de varios factores tales como la evaporación máxima diaria al 10 % de probabilidad de ocurrencia, la velocidad y dirección del viento predominante y la humedad relativa para determinar los coeficientes de cultivo y de corrección de la cubeta.

De acuerdo con (Prinset *al.*, 1992), es importante también considerar:

5. Tipo de tecnología: En los sistemas RLAF se requiere más equipamiento que en los métodos de riego clásicos esto condiciona que hay que tener en cuenta el costo del equipamiento, su explotación y mantenimiento. Esto debe tenerse en cuenta también en el momento de elegir la técnica de riego.
6. Práctica con el método a emplear: A veces es preferible instalar un método conocido o tradicional de riego que encarar las complicaciones que conlleva introducir una sofisticada pero desconocida técnica de riego, pues se corre el riesgo de ser rechazada o mal empleada por los usuarios.
7. Costos y beneficios: Estos deben estimarse antes de decidirse por un método de riego cualquiera, incluye los constructivos y de instalación, los de operación y mantenimiento. Los cuales se comparan con los beneficios que reportarían los rendimientos esperados y finalmente se decide por el método más atractivo económicamente.

### I.3.- Fundamentos teóricos del diseño hidráulico de sistemas de riego presurizados.

Debido a su carácter regular, el flujo en régimen laminar es más simple de analizar que el flujo en régimen turbulento sin embargo la mayoría de los problemas que se presentan en el diseño de redes hidráulicas a presión pertenecen al dominio del régimen turbulento. La identificación de uno u otro se realiza a través del Número de Reynolds ( $Re$ ). Osborne Reynolds (1842 – 1867) nació en Belfast, Irlanda, y desarrolló experimentos que le permitieron exponer una serie de teorías que mantienen su vigencia en la actualidad.

$$Re = \frac{V \times w}{\hat{\nu}} \quad (1)$$

#### Donde:

V.- Velocidad media en la tubería (m/s).

.- Diámetro interior de la tubería (m).

$\hat{\nu}$  .- Viscosidad Cinemática ( $m^2/s$ ).

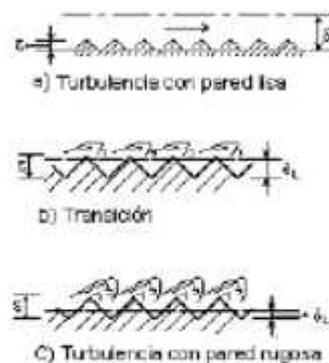
$R \leq 2000$  Régimen Laminar

$2000 < R < 4000$  Régimen de Transición

$R \geq 4000$  Régimen Turbulento

$4000 \leq R \leq 10 / (\epsilon/\phi)$  Régimen Turbulento Liso

$10 / (\epsilon/\phi) < R < 500 / (\epsilon/\phi)$  Turbulento intermedio.



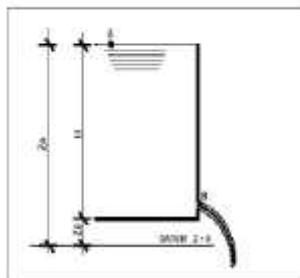
$R \geq 500/(\varepsilon/\varphi)$  Régimen Turbulento Rugoso

: Rugosidad absoluta equivalente de la pared, m.

L: Espesor de la capa límite, m.

### I.3.1.- Teoría hidráulica de los dispositivos de emisión.

Un propósito importante durante el diseño hidráulico de los sistemas de riego, consiste en garantizar las exigencias de los cultivos determinadas durante el diseño agronómico. En los sistemas de riego presurizados el agua se distribuye por medio de tuberías generalmente circulares, a sección llena, la misma es aplicada a los cultivos por medio de dispositivos de emisión que entregan el caudal por disipación de la energía. De acuerdo con Caupers y Junior (2007), la formulación de Torricelli ofrece una aproximación bastante acertada para estimar el caudal que entrega un emisor de riego, la misma es válida para depósitos de grandes dimensiones con un orificio de salida en la pared lateral. J.L. de Paco (2003), coincide con otros autores al plantear que la ecuación de trabajo de los emisores, es usualmente suministrada por el fabricante y se deduce de la Ecuación de la Energía:



**Fig. 5.- Estimación de la velocidad en orificios**

Aplicando Bernoulli entre A y B y tomando como referencia  $Z = 0$ . Siendo B la sección contraída y estando A y B abiertos a la atmósfera  $P = P_{atm}$ .

$$Z_A + \frac{P_A}{\gamma} + \frac{V_A^2}{2g} = Z_B + \frac{P_B}{\gamma} + \frac{V_B^2}{2g} \quad (1)$$

Considerando,  $\frac{P_A}{\gamma} = 0$ ;  $\frac{V_A^2}{2g} = 0$ ;  $\frac{P_B}{\gamma} = 0$ ; se llega a:  $V_B = \sqrt{2g \times (Z_A - Z_B)}$ ; y simplificando:

$$V_B = \sqrt{2g} \quad (2)$$

La evolución de estos dispositivos de emisión, que toman el agua desde tuberías a presión ha sido extremadamente amplia (desde emisores de riego localizado que entregan menos de 2 L/h hasta las toberas de aspersión que entregan más de 100 L/h), el funcionamiento hidráulico de los mismos varía desde el régimen Laminar hasta el de plena Turbulencia, López Sánchez

(2001). Partiendo de **(2)**, se puede definir el caudal que entrega un dispositivo emisor de riego por medio de:

$$Q = C_c \times C_v \times A_e \times \sqrt[3]{2g} \quad (3)$$

En la que el producto  $C_c \times C_v$ , es el coeficiente de descarga del dispositivo emisor ( $C_d$ ) corregido en función del coeficiente de contracción del chorro y el coeficiente de velocidad respectivamente y  $C_d \times A_e \times \sqrt[3]{2g}$ , es una constante ( $K_d$ ) propia para cada emisor en función de las características geométricas. Admitiendo que el dispositivo trabaja en régimen turbulento ( $x=0.5$ ), la ecuación **(3)** se puede transformar en:

$$Q = K_d \times H^x \quad (4)$$

Donde ( $x$ ) es el exponente de descarga del emisor. De acuerdo con López Sánchez (2001), el valor de ( $x$ ) estaría comprendido entre 0.5 y 1.0, en dependencia de si el dispositivo trabaja en régimen Laminar o Turbulento, sin embargo debido a la existencia de dispositivos de emisión que permiten una limitación del caudal con el aumento de la presión (como ocurre con los emisores autocompensantes de riego por goteo), el valor de ( $x$ ) puede ser incluso inferior a 0.5.

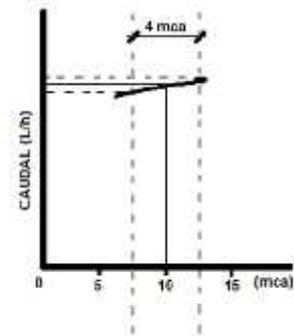
En la tabla No.1 que le sigue, se muestran los valores del exponente de descarga ( $x$ ) en función del tipo de emisor y el régimen de flujo.

**Tabla No.1.-** Valores de ( $x$ ) propuestos por Boswell (1990).

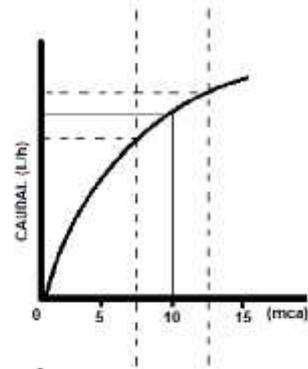
REGIMEN DE FLUJO	( $x$ )	TIPO DE EMISOR
	0.0	
Conducto variable.	0.1	Autocompensantes
	0.2	
	0.3	
Flujo vorticial.	0.4	Emisores Vortex
Flujo turbulento rugoso.	0.5	De Orificio y de Laberinto
	0.6	
Flujo parcialmente turbulento.	0.7	De largo conducto y de Espiral
	0.8	
Flujo parcialmente laminar.	0.9	Microtubo
	1.0	
Flujo perfectamente laminar.	1.0	Flujo Capilar

La figura No. 2 que le sigue, muestra las variaciones de caudal del emisor en función de la variación de presión para valores  $0 \leq x \leq 1$ , caudal del emisor de 4 L/h y presión de trabajo (mca)  $8 \leq H \leq 12$

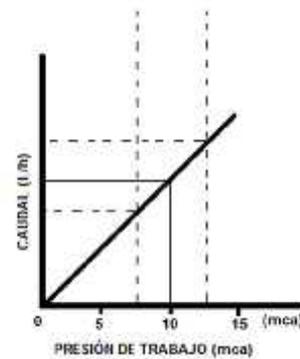
EMISOR AUTOCOMPENSANTE  
 EXPONENTE:  $X= 0$   
 PRESIÓN DE TRABAJO: 10 mca  
 VARIACIÓN DE PRESIÓN:  $\pm 2$  mca  
 CAUDAL NOMINAL: 4 L/h



EMISOR DE FLUJO TURBULENTO  
 EXPONENTE:  $X= 0.5$   
 PRESIÓN DE TRABAJO: 10 mca  
 VARIACIÓN DE PRESIÓN:  $\pm 2$  mca  
 CAUDAL NOMINAL: 4 L/h



EMISOR DE FLUJO LAMINAR  
 EXPONENTE:  $X= 1.0$   
 PRESIÓN DE TRABAJO: 10 mca  
 VARIACIÓN DE PRESIÓN:  $\pm 2$  mca  
 CAUDAL NOMINAL: 4 L/h



**Figura No. 6.-** Variaciones de caudal del emisor, (Boswell 1990).

De acuerdo con (Boswell 1990) el valor real del exponente ( $x$ ) para un emisor dado se puede determinar experimentalmente haciendo trabajar el emisor a dos presiones diferentes  $H_1$  y  $H_2$ , dentro del rango de presiones de trabajo del emisor y midiendo cuidadosamente los caudales  $Q_1$  y  $Q_2$ , luego se dibujan en

papel logarítmico los pares  $(H_1; Q_1)$  y  $(H_2; Q_2)$  y se mide la pendiente de la recta dibujada entre los dos puntos. También se puede obtener derivando algebraicamente la ecuación (4)

$$X = \frac{u \left( \frac{Q_1}{Q_2} \right)}{u \left( \frac{H_1}{H_2} \right)} \quad (5)$$

La constante ( $K_d$ ) también se puede obtener despejando de (4):

$$K_d = \frac{Q}{H^x} \quad (6)$$

En los sistemas convencionales de aspersión, es aplicable la conocida regla del 20%, (Amir 1998), la misma establece que la variación de presión entre los aspersores más distantes y/o desnivelados de una parcela de riego no supere el 20% de la presión de diseño de los mismos. Se admite que los aspersores de riego por aspersión (mayoritariamente no autocompensantes) funcionan en régimen de plena turbulencia (J.L. de Paco 2003), siendo el exponente de descarga ( $x \cong 0.5$ ). De esta forma el valor nominal de la variación relativa del caudal entre dos aspersores se adopta = 10%, que se corresponde con el 20% de la variación relativa de las presiones, en términos de diseño, esto es:

$$\Delta H \leq 0.2H \quad (7)$$

Lo anteriormente escrito, pone de manifiesto la influencia del tipo de dispositivo de emisión y el régimen de flujo, en la uniformidad de distribución de los emisores en la parcela de riego. Sin embargo la experiencia en el diseño ha demostrado que lo anteriormente expuesto no es el único criterio que se debe considerar al diseñar una parcela de riego. Este porcentaje tiene una incidencia económica importante en las inversiones, toda vez que su valor influye en la selección de los diámetros y longitudes de los tramos de tuberías que conforman las redes de riego.

### **1.3.2.- Criterio de uniformidad de aplicación del riego.**

(Selléz y Ferrera2003) se refieren a la conveniencia de analizar las ventajas de utilizar valores de variación de presión admisible entre 15 y 20%, en lugar del 20 y 25% propuesto por otros autores. La tendencia de ir hacia la alta frecuencia de riego, infiere la conveniencia de los sistemas fijos de aspersión convencional, y justifica el criterio de estos autores.

En el diseño de sistemas de riego localizado los criterios son más exigentes, para estos casos no es aplicable el criterio de uniformidad de Christiansen, esta garantía se alcanza al definir un nuevo coeficiente de uniformidad ( $CU$ ), el cual

puede ser utilizado para la evaluación de instalaciones en funcionamiento así como para el diseño de nuevas instalaciones. Este parámetro es una condición que se impone en el diseño agronómico y correlaciona factores constructivos e hidráulicos, fue sugerido por (ASAE EP405), citado por (Boswell 1990) y aceptado por el Servicio de Conservación de Suelos de los EE.UU. El procedimiento parte del cálculo de la tolerancia de presiones y caudales, y se emplea la ecuación propuesta por, (Keller y Karmelli1990).

$$C = 100 \times \left[ 1 - \left( \frac{1.2 \times C_v}{\sqrt[3]{e}} \right) \times \frac{Q_{\min}}{Q_m} \right] \quad (8)$$

**Donde:**

*CU* .- Coeficiente de uniformidad (condición que se impone en el diseño) en %

*C<sub>v</sub>* .- Coeficiente de variación de fabricación en decimal.

*e* .- Número de emisores que humedecen a una misma planta.

*Q<sub>mín</sub>* .- caudal mínimo permisible en la parcela de riego en L/h.

*Q<sub>med</sub>* .- caudal que entrega el emisor para la presión nominal en L/h.

El término  $1 - \left( \frac{1.2 \times C_v}{\sqrt[3]{e}} \right)$  agrupa los factores constructivos.

El término  $\frac{Q_{\min}}{Q_m}$  agrupa los factores hidráulicos.

Tres razones justifican la utilización de (8) en lugar de (7), que es la utilizada en el diseño de los sistemas de riego por aspersión: El hecho de que el diámetro de salida ( $\phi_s$ ) de los emisores de goteo es mucho menor que el de los emisores de aspersión, generalmente su valor oscila entre  $0.8 \leq \phi_s \leq 1.2 \text{ mm}$ , implica que el riesgo de obturación es mucho mayor en los emisores de riego localizado; Es real que no todos los emisores de goteo salen de la fábrica con el mismo ( $\phi_s$ ), debido al desgaste que experimentan los moldes durante el proceso de fabricación, este detalle afecta la uniformidad de entrega de los emisores en la parcela de riego, (al considerar al estimar (*CU*), el número de emisores que humedecen una misma planta (*e*), el factor constructivo es tenido en cuenta con mayor rigor en los sistemas de riego localizado; por último y no menos importante, resalta el hecho de que a diferencia de lo que ocurre en los sistemas de riego por aspersión, en los sistemas de riego localizado la incidencia de los vientos en la forma y dimensiones de los bulbos de húmedos que se generan es significativamente menor, principalmente en las técnicas de goteo y exudación.

Con relación al factor hidráulico, en el mismo se tiene en cuenta la relación entre el caudal mínimo permisible en la parcela y el caudal nominal o de diseño del emisor, por medio de estimar las pérdidas por rozamientos que tienen lugar en la red tuberías que conforman la parcela de riego, así como los desniveles topográficos debidos al relieve; y de comprobar que la presión mínima dentro de la parcela de riego sea mayor o igual que un valor mínimo que se calcula en la tolerancia de presiones.

En la práctica del diseño, se ha generalizado el procedimiento propuesto por (Keller y Rodrigo 1979), quienes proponen dividir el cálculo en función del tipo de emisor. Cuando se utilizan emisores AUTOCOMPENSANTES, en los que el exponente de descarga toma un valor más próximo a cero a partir de cierta presión ( $x \rightarrow 0$ ), las variaciones de presión en la parcela de riego debido a las pérdidas de carga (continuas y locales) y a los desniveles topográficos, así como otras simplificaciones y aproximaciones inherentes al procedimiento de diseño no tiene repercusiones importantes sobre la uniformidad de distribución del agua en parcela. Lo contrario ocurre cuando se utilizan emisores NO AUTOCOMPENSANTES, en cuyo caso el procedimiento continúa por medio de:

$$Q \quad \dot{m} = \frac{c \times Q}{1 - \left( \frac{1.2 \times L_v}{\sqrt{E}} \right)} \quad (9)$$

$$H \quad \dot{m} = \left( \frac{Q \dot{m}}{K} \right)^{1/x} \quad (10)$$

Y lo que se pretende es que las presiones dentro de cada parcela, no disminuyan por debajo de un valor mínimo ( $H_{mín}$ ), como garantía de que un porcentaje importante de los emisores ( 90%), entreguen un caudal igual o superior al ( $Q_{med}$ ), el cual se estima al fijar ( $CU$ ). En estos casos, el uso de aproximaciones y simplificaciones en el procedimiento de diseño puede repercutir negativamente en el rigor del diseño y a posteriori en la explotación de la instalación.

### **1.3.3.- Introducción al procedimiento para el diseño hidráulico.**

La finalidad del Diseño Hidráulico es conseguir el dimensionamiento óptimo de la instalación para satisfacer las exigencias establecidas en el Diseño Agronómico, además de los datos calculados, en esta fase interviene otro dato de partida (la topografía), la cual conjuntamente con las características del

agua y las prácticas de cultivo influirán en la elección del tipo de emisor y la disposición de los laterales.

Esta elección se hará también teniendo en cuenta las preferencias del inversionista, precio, características hidráulicas, durabilidad del emisor, sensibilidad a las obturaciones y a la temperatura, etc. También se establecerá mediante criterios técnico-económicos, el tiempo disponible para el riego y el grado de automatización. Con estos datos, el tiempo de aplicación de la dosis y la frecuencia de riego prevista, se calculará el número máximo de unidades rotacionales.

Primeramente se calcula la tolerancia de caudales, para conseguir la uniformidad de riego ya definida en el Diseño Agronómico (CU). La relación entre el caudal del emisor que entrega menos agua ( $q_{min.cr}$ ) y el caudal medio de todos los emisores ( $q_{med.}$ ) no debe ser inferior a un cierto valor, que se calcula en función de CU, del número de emisores por planta y del coeficiente de variación de fabricación del emisor a utilizar. Calculada la tolerancia de caudales y conocida la ecuación del emisor (relación  $q$  vs  $h$ ), se calcula la tolerancia de presiones.

Estos cálculos son comunes para toda la instalación, a partir de ellos el cálculo se desarrolla independientemente para cada parcela de riego. La uniformidad de riego elegida, permitirá mediante cálculos hidráulicos, definir las condiciones límites en las que debe funcionar la instalación y basándose en ellas y al resto de los datos, ejecutar el diseño preliminar de las parcelas de riego; su número y ubicación permiten conocer los caudales en las distintas conducciones y el flujo total, que junto con el grado de automatismo elegido y las características del agua a tratar en el filtrado, serán los datos necesarios para el diseño preliminar del cabezal.

El proceso brevemente descrito no es unidireccional, por el contrario, en muchas de sus fases deberá ser de prueba y error teniendo que volver hacia atrás a ensayar otras posibilidades, una vez diseñada la instalación y comprobado su funcionamiento, se procederá a completar los cálculos hidráulicos necesarios para calcular los tipos de materiales, resistencia y dimensiones, todos estos cálculos se realizarán partiendo desde el final y avanzando hacia la toma de agua del sistema. Es decir, se calcularán primero

las presiones y caudales en la entrada de las parcelas de riego y se continuará con las tuberías conductoras hasta cada cabezal.

Las variaciones de presión que se produzcan aguas arriba del regulador de presión son controladas por este aparato y no modifican la presión de trabajo de los emisores (dentro de ciertos límites y siempre que aguas arriba del regulador la presión supere un mínimo). En cambio las variaciones de presión que se produzcan aguas abajo del regulador y que puedan deberse a los desniveles del terreno y a las pérdidas de carga en las tuberías, hacen que los distintos emisores de una misma parcela de riego estén sometidos a presiones diferentes y por lo tanto entreguen caudales diferentes.

Por consiguiente, la uniformidad del riego depende únicamente de lo que ocurra en el interior de la parcela, lo cual justifica la importancia que tiene el diseño de esta parte de la instalación. Para el diseño de una parcela de riego hay que combinar lo que es puro cálculo hidráulico con la distribución en planta de la red de riego, los cálculos hidráulicos consisten en primer lugar en determinar los caudales en los laterales y las distribuidoras y después teniendo en cuenta la tolerancia de presiones, calcular para las mismas tuberías los diámetros, longitudes y el régimen de presiones.

Esta es la fase más complicada del cálculo hidráulico y con ello acaba el diseño de la parcela de riego, el resto del diseño, red de conductoras, principales, cabezales de riego e instalación de bombeo es similar al de cualquier red de riego tradicional por tuberías, con algunas particularidades en el caso del cabezal de riego.

#### **I.4.- Conclusiones parciales.**

1. El análisis de los procedimientos de diseño revisados infiere la conveniencia de no utilizar procedimientos de diseño simplificados porque influyen negativamente en las prestaciones de la instalación.
2. La clasificación de los emisores desde el punto de vista docente en Autocompensantes y No Autocompensantes, permite una mejor comprensión de los procedimientos de diseño.
3. El procedimiento propuesto por Keller y Rodrigo mantiene su vigencia y validez, a pesar de los adelantos tecnológicos acontecidos en este método de riego.
4. Es positivo automatizar el procedimiento de diseño de acuerdo con las posibilidades de equipamiento informático, los libros de Microsoft Excel son una variante alternativa viable.

# Capítulo II

## Materiales y Métodos

## II.1.- Caracterización del caso de estudio.

El área de estudio se ubica en el extremo Este de la Llanura del Cauto en la región oriental de Cuba, muy próxima a la margen izquierda del río Cauto, aguas abajo de la confluencia con el río Contramaestre (Fig. 1). Se localiza a 35 km al noreste de la ciudad de Bayamo, capital de la provincia Granma, en las coordenadas geográficas 20°31'25" de latitud norte y 76°20'24" de longitud oeste, con una altitud de 50 m.



Figura. 7 Foto satelital del área de estudio

## II.2.- Enfoque de cálculo. Variantes de diseño.

La aplicación del diseño hidráulico simplificado de sistemas de riego localizado tiene su origen en la característica de prueba y error del procedimiento y consecuentemente en la necesidad de analizar varias variantes de diseño, sin detrimento de la rapidez y calidad de las soluciones, que sobre los parámetros de explotación de los sistemas de riego tienen estos cálculos.

Para establecer su influencia, se realizó la comparación a partir de los resultados de dos variantes de cálculo (A y B) realizadas para el beneficio de las plantaciones de cítricos que se prevén fomentar en áreas de la Empresa Agropecuaria "Jiguani". La comparación se realizó sobre la base de los parámetros que determinan el régimen de presiones que tiene lugar en la parcela de riego, justificado en el hecho de su influencia en la uniformidad de distribución de los emisores y la posterior rentabilidad de la instalación. Por razones de tiempo, se escogió para la comparación, el procedimiento para emisores autocompensantes en su variante más simple de lateral alimentado por un extremo.

En la variante A (diseño simplificado) se concibe la aplicación del procedimiento propuesto por (Keller y Rodrigo 1979), la presión al inicio del

lateral que trabaja con la presión media, se estima considerando 77% de las pérdidas por rozamiento a lo largo del lateral, ya que el criterio asume que es en esa longitud donde ocurren las pérdidas más importantes en ese tipo de conducción con entregas en ruta uniformemente espaciadas, de igual manera se asume la mitad inicial del desnivel en la tubería ( $0.5 Z_{LAT}$ ), ya que es en ese tramo donde hay más incidencia en las variaciones de presión debido igualmente a que los caudales son mayores.

Las pérdidas por rozamiento en la tubería ( $H_{f_{LAT}}$ ) se estiman por la aproximación de Blasius, teniendo en cuenta las pérdidas que se producen en la conexión emisor – lateral ( $L_e$ ) y el coeficiente de pérdidas por salidas múltiples uniformemente espaciadas ( $F$ ). La presión mínima en el lateral que trabaja con la presión media, se obtiene aplicando la ecuación de la energía simplificada y por último la variación de presión en el lateral ( $h_{LAT}$ ) se obtiene de la diferencia entre las presiones extremas. Los valores así calculados deben cumplir lo establecido por las restricciones de diseño que en estos casos implica que estén dentro del rango de compensación del gotero.

En el caso de la tubería distribuidora, la misma se diseña de forma similar a como se realiza en el riego por aspersión convencional, aplicando la ecuación Bernoulli entre los extremos de la tubería para obtener la presión al inicio de esta ( $H_{INI}$ ) y al final ( $H_{FIN}$ ), la diferencia entre ambos valores representa la variación de presión en la tubería distribuidora ( $H_{DIST}$ ), la cual no debe superar el 20% de la presión de trabajo del emisor, como criterio de uniformidad. A partir de ( $H_{INI}$ ) se obtiene la presión necesaria en la válvula al inicio de la distribuidora ( $H_{VAL}$ ).

En la variante B (diseño asistido por PC) se concibe igualmente la aplicación del procedimiento propuesto por (Keller y Rodrigo 1979), pero la presión al inicio del lateral que trabaja con la presión media, se estima calculando tramo a tramo las pérdidas por rozamiento a lo largo del lateral, la sumatoria de estas serán las pérdidas por rozamiento totales en la tubería lateral ( $H_{f_{LAT}}$ ), el desnivel en la misma se estima completo por diferencia de cotas entre los extremos del lateral ( $Z_{LAT}$ ), las pérdidas por rozamiento en la tubería ( $H_{f_{LAT}}$ ) se estima por la aproximación de Blasius, teniendo en cuenta las pérdidas que se producen en la conexión emisor – lateral ( $L_e$ ).

Como ( $H_{LAT}$ ) se obtiene tramo a tramo, no se utiliza el coeficiente de pérdidas por salidas múltiples uniformemente espaciadas ( $F$ ). La presión mínima en el lateral que trabaja con la presión media, se obtiene igualmente aplicando la ecuación de la energía simplificada y por último la variación de presión en el lateral ( $h_{LAT}$ ) se obtiene de la diferencia entre las presiones extremas. Los valores así calculados deben cumplir lo establecido por las restricciones de diseño que en estos casos implica que estén dentro del rango de compensación del gotero.

En el caso de la tubería distribuidora, generalmente conviene, dividir la distribuidora en varios tramos de distintos diámetros, pero en cada caso habrá que estudiar si compensa el ahorro de colocar menores diámetros con el mayor costo de las piezas de reducción y la mayor complicación en la ejecución de las obras. Pero sin dudas hay casos en que el cambio de diámetros puede convenir sobre todo en parcelas grandes con distribuidoras de gran longitud y emisores de bajo caudal.

El método consiste en dividir la distribuidora en tantos tramos como espacios haya entre laterales, a la presión inicial en la distribuidora ( $H_o$ ) se va descontando la pérdida de carga de cada tramo y restando o sumando el desnivel, según la distribuidora vaya perdiendo o ganando altura. De esta forma se obtiene la presión inicial de cada lateral en función de ( $H_o$ ), valor aún desconocido. La media de todas estas presiones se iguala a ( $h_o$ ), presión de entrada del lateral medio, que es un parámetro obtenido anteriormente. Esto permite calcular ( $H_o$ ) y la presión al inicio de cada lateral, la menor de las cuales es ( $H_{MÍNdist}$ ). Luego se calcula la presión mínima en toda la parcela de riego ( $H_{MÍNparcela}$ ), cuyo valor debe estar dentro del rango de compensación del gotero. A partir de ( $H_o$ ) se obtiene la presión necesaria en la válvula al inicio de la distribuidora ( $H_{VAL}$ ).

### **II.2.1.- Fuente de abasto.**

El agua de riego se bombea desde la margen izquierda del río Contramaestre en un punto ubicado a 200 m, aguas arriba de la confluencia con el río Cauto. El agua se conduce a través de un canal magistral que abastece a los embalses reguladores, desde donde se rebombea para las parcelas de riego. Como medida de la salinidad del agua de riego se conoce que los valores de la conductividad eléctrica,  $CE_{ar}$ , varían desde 0.4 hasta 3.3dS/m, su valor,

para un 10% de probabilidad de sobrepaso (criterio idéntico que para la  $ET_c$ ), es 0.75 dS/m, que se obtuvo de la serie 1991-2019 de valores medidos entre los meses de enero y abril. La fuente de abasto se considera apta para el riego del cultivo propuesto, en las dos variantes.

### II.2.2.- Datos del Suelo.

Según el mapa de suelos de la República de Cuba, conforme con la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (*WRB* por sus siglas en inglés), la superficie de riego es de 11 Ha, el suelo clasifica como *CalcaricFluvisol (FLca)*, de textura media. El grado de estratificación se considera entre homogéneo y estratificado; la profundidad varía entre 0.75 – 1.5 m; la Pendiente se considera suave y uniforme (se sugiere no considerar el desnivel de las conducciones para el análisis de ambas variantes) y la velocidad de infiltración básica promedio es 18.91 mm/h.

### II.2.3.- Características del cultivo a beneficiar.

El cultivo a beneficiar es ‘Naranja Valencia’ (*Citrus paradisi* Macfad.), injertado sobre naranjo agrio (*Citrus aurantium* L.), para árboles de 10 años de plantados con diámetro medio de la copa = 4.6 m.

### II.2.4.- Agregados de riego.

Tipo de emisor: Autocompensante.

Caudal del emisor, de presión trabajo = 8 L/h.

Rango de compensación: 49 a 294 kPa

Presión de trabajo: 150 kPa

En lo que sigue se refieren además las características técnicas de las tuberías que se utilizaron en el diseño.

NC

NC 969: 2013

Tabla 5.5 — Espesor de pared

PE 40	SDR 7.4		SDR 9		SDR 11		SDR 13.6		SDR 17		SDR 21		SDR 26		SDR 33	
	PN 10	PN 8	PN 12.5	PN 10	PN 8	PN 6	PN 5	PN 4	PN 3.2	PN 2.5	PN 3.2	PN 2.5	PN 2	PN 1.6	PN 1.25	PN 1
PE 63	PN 16	PN 12.5	PN 10	PN 8	PN 6	PN 5	PN 4	PN 3.2	PN 2.5	PN 2	PN 1.6	PN 1.25	PN 1	PN 0.8	PN 0.63	PN 0.5
PE 80	PN 20	PN 16	PN 12.5	PN 10	PN 8	PN 6	PN 5	PN 4	PN 3.2	PN 2.5	PN 2	PN 1.6	PN 1.25	PN 1	PN 0.8	PN 0.63
PE 100	PN 25	PN 20	PN 16	PN 12.5	PN 10	PN 8	PN 6	PN 5	PN 4	PN 3.2	PN 2.5	PN 2	PN 1.6	PN 1.25	PN 1	PN 0.8
$\psi$ Nominal	$S_{Mfr}$	$S_{Mtr}$														
16	2.3	2.7	2.0	2.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	3.0	3.4	2.3	2.7	2.0	2.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	3.5	4.0	3.0	3.4	2.3	2.7	2.0	2.3	-	-	-	-	-	-	-	-
32	-	-	3.6	4.1	3.0	3.4	2.4	2.8	2.0	2.3	-	-	-	-	-	-
40	-	-	-	-	3.7	4.2	3.0	3.5	2.4	2.8	2.0	2.3	-	-	-	-
50	-	-	-	-	-	-	3.7	4.2	3.0	3.4	2.4	2.8	2.0	2.3	-	-
53	-	-	-	-	-	-	4.7	5.3	3.8	4.3	3.0	3.4	2.5	2.9	-	-
75	-	-	-	-	-	-	5.6	6.3	4.5	5.1	3.6	4.1	2.9	3.3	-	-
90	-	-	-	-	-	-	6.7	7.5	5.4	6.1	4.3	4.9	3.5	4.0	-	-

Tabla 5.6 — Diámetro Interior y peso en kilogramo por metro

PE 10 PE 03 PE 90 PF 100 φ Nominal	SDR 7.4		SDR 9		SDR 11		SDR 13.6		SDR 17		SDR 21		SDR 26		SDR 33	
	Peso kg/m	φ <sub>int</sub> mm														
16	0,101	11,4														
20			0,13	15,4												
25					0,17	20,4										
32					0,28	36,0										
40									0,292	38,2						
50									0,453	44,0						
63									0,719	65,4						
75									1,01	90,0	0,818	67,8	0,673	69,2		
90									1,445	120,2	1,172	81,4	0,965	83,0		

**II.3.- Datos básicos para el diseño.**

La profundidad de ramificación de las raíces = 1m, se ha decidido utilizar un emisor de goteo autocompensante; el mismo alcanza humedecer un radio aproximado = 0.83 m; la presión de trabajo recomendada por el fabricante es 150 kPa, el emisor entrega un caudal = 8 L/h; el coeficiente de cultivo de las mismas se ha estimado = 0.83; la evaporación al 10% de probabilidad de ocurrencia se estima en 6.71 mm; medida en cubeta clase A con un coeficiente de corrección = 0.9. El suelo es de textura media con una velocidad de infiltración básica = 18.91 mm/hy conductividad eléctrica en el extracto de saturación de suelo = 2.5 dS/m. Tiempo de operación diaria = 16 horas; la eficiencia de aplicación = 90%, la conductividad eléctrica del agua de riego = 1.2 dS/m. Porcentaje de humedecimiento mínimo = 30 %, diámetro promedio de la copa del árbol = 4.6 m.

Datos Adicionales:

φ para el lat. (int. en mm) = 16.4

φ desde 1<sup>er</sup> lateral a la válvula = (mm) = 50 x 44.4

Pendiente para el diseño del lateral = 2%

Pendiente para el diseño de la distribuidora = -1%

Desnivel del 1<sup>er</sup> lateral a la válvula = 0.16 m

Coefficiente de Uniformidad = 90%

$$Le = 18.91 * W_{lat}^{-1.87} \quad 0.89 \leq V_T \leq 2.38 \quad \text{Número de hileras de plantas} = 10$$

Número de plantas en una misma hileras = 27

Distancia entre el primer emisor y la distribuidora = Se/2

**RANGO COMPENSACIÓN 98 a 294 kPa**

**Tabla 7.- Datos básicos para el diseño hidráulico.**

Var	Agua	Suelo	Planta	Agregados de riego
A	Apta para el riego.	Pendiente para el diseño de los laterales = 2%.	$MS = 8 \times 4$	PEBD 16.4 mm PEAD 20.4 mm PEAD 24.8 mm
B	$CE_{AR} = 0.75$ dS/m	Pendiente para el diseño de las distribuidoras = -1%	$MS = 8 \times 4$	PEAD 35.8 mm PEAD 44.4 mm

### II.3.1.- Procedimientos para el diseño hidráulico.

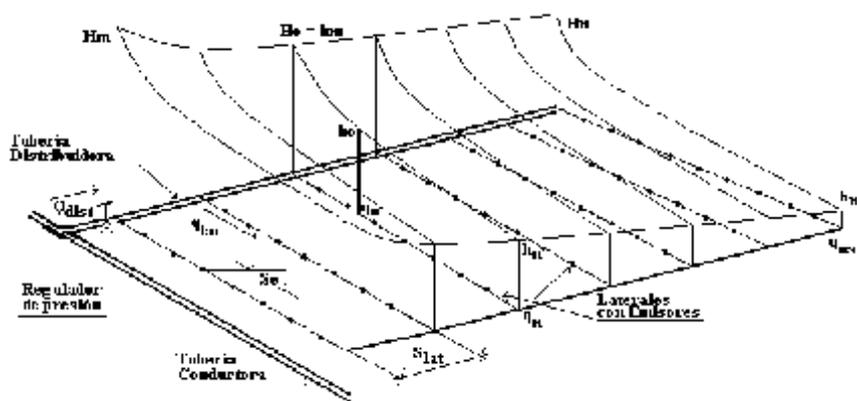


Figura 8.- Presiones y caudales en una parcela de riego.

#### Diseño de la parcela de riego.

El diseño de la parcela de riego incluye la distribución en planta de la red de riego (distribuidoras y laterales), la determinación de los caudales, los diámetros y el régimen de presiones. El cálculo se inicia a partir de la presión de trabajo del emisor ( $h_{med}$ ), a partir de este valor, se determinan los valores de las presiones ( $h_0$ ,  $h_{mín}$  y  $h$ ) correspondientes a los laterales de riego que conforman la parcela, fijando para el lateral, la presión más próxima a la presión media. Luego se calculan las presiones ( $H_0$ ;  $H_{mín\ dist}$ ;  $H_{mín\ parcela}$  y  $H_{val}$ ), correspondientes a la tubería distribuidora. La restricción de diseño establece para emisores autocompensantes que todas estas presiones deben estar dentro del rango de compensación del gotero.

En primer lugar se estudia la longitud máxima que pueden tener los laterales en función de la pendiente y de su diámetro, fijando el diámetro puede quedar más posibilidad a los casos de cambio de pendiente y otros tipos de laterales y continuar luego con el cálculo de las tuberías distribuidoras,

conductoras y principales.

**1. Presión al inicio del lateral (ho) [mca].**

$$h_o = h_{med.} + (0.733 \times h_f) + \left( \frac{\Delta Z_{lat}}{2} \right) \quad (11)$$

**2. Presión mínima en el lateral (hmín.) [mca].**

$$h_{mín.} = h_o - h_{flat} - \Delta Z_{lat} = h_{med.} - (0.267 \times h_{flat}) - \left( \frac{\Delta Z_{lat}}{2} \right) \quad (12)$$

**3. Variación de la presión a lo largo del lateral (HLr) [m].**

$$\Delta h_{lat} = h_o - h_{mín.} \quad (13)$$

**4. Condición de uniformidad.  $C_u \geq 90\%$**

$$CU = 1 - \left( \frac{1.27 * C_v}{\sqrt{e}} \right) \times \left( \frac{h_{mín.}}{h_{med.}} \right)^x \quad (14)$$

**Cálculo de las tuberías distribuidoras.**

En el cálculo de distribuidoras se iguala  $H_m = h_o$  (figura No.8) y a partir de  $H_m$  se calculan ( $H_o$ ;  $H_{MÍNdist}$ ;  $H_{MÍNparcela}$  y  $H_{val}$ ),

El procedimiento consiste en dividir la distribuidora en tantos tramos como espacios haya entre laterales, a la presión inicial en la distribuidora ( $H_o$ ) se va descontando la pérdida de carga de cada tramo y restando o sumando el desnivel, según la distribuidora vaya perdiendo o ganando altura. De esta forma se obtiene la presión inicial de cada lateral en función de ( $H_o$ ), valor aún desconocido. La media de todas estas presiones se iguala a ( $h_o$ ), presión de entrada del lateral medio, que es un dato del problema. Esto permite calcular ( $H_o$ ) y la presión al inicio de cada lateral, la menor de las cuales es ( $H_{MÍNdist}$ ), luego se obtiene ( $H_{MÍNparcela}$ ), por la diferencia entre la presión mínima en la distribuidora y ( $h_{lat}$ ) y finalmente se calcula ( $H_{val}$ ), aplicando la ecuación de Bernoulli simplificada entre ( $H_o$ ) y ( $H_{val}$ ). La secuencia que le sigue muestra las expresiones matemáticas del procedimiento.

$$J_t = 0.473 \times W_{int.}^{-4.75} \times Q_{tramo}^{1.75} \quad (15)$$

$$\Delta Z_{tramo} = i_{dist} \times L_{tramo} \quad (16)$$

$$H_{ftramo} = J_t \times L_{tramo} \quad (17)$$

$$H_1 = H_0$$

$$H_2 = H_1 - H_{ftram}Q_{(1-2)} - \Delta Z_{tram}Q_{(1-2)}$$

$$H_3 = H_0 - H_{ftram}Q_{(1-3)} - D_{tram}Q_{(1-3)}$$

$$H_n = H_1 - H_{ftram}Q_{(1-n)} - \Delta Z_{tram}Q_{(1-n)}$$

$$\left( \frac{\sum H_i}{N_{lat}} \right) = H_0$$

$$H_0 \pm \left( \frac{\sum H_i}{N_{lat}} \right) = h_0$$

El lateral con menor presión al inicio ( $H_{MínDist}$ ), se obtiene directamente de la tabla.

$$H_{mínparcel} = H_{mínDist} - \Delta H_{lat}$$

Condición de uniformidad: Todas las presiones deben estar dentro del rango de compensación del gotero.

Ecuaciones utilizadas para la variante A.

Presión al inicio del lateral.

$$h_0 = H_e + \left( 0.773 \times h_f \right) + \frac{\Delta Z_L}{2} \quad (18)$$

Pérdidas por rozamiento en el lateral.

$$h_f = J \times F \times L_L \quad (19)$$

Pendiente hidráulica.

$$J = j \times \left( \frac{S_e + L_e}{S_e} \right) \quad (20)$$

$$j = 0.473 \times Q_{Li}^{1.7} \times \phi_{Li}^{-4.7}$$

Caudal en el lateral.

$$Q_{Li} = N_e \times Q_e \times e \quad (21)$$

Factor de pérdidas por salidas múltiples uniformemente espaciadas.

$$F = \frac{1}{2n} + \frac{1}{m+1} + \sqrt{\frac{m-1}{6 \times n^2}} \quad (22)$$

Presión mínima en el lateral.

$$h_m = h_0 - h_f - \Delta Z_{Li} \quad (23)$$

Variación de presión en el lateral.

$$\Delta h_{li} = h_0 - h_{mín}$$

Velocidad en un tramo de la distribuidora.

$$V_T = \frac{Q_T}{A_T} \quad (24)$$

Pérdidas por rozamiento en un tramo de la distribuidora.

$$H_T = J_T \times L_T \quad (25)$$

Presión al final de la distribuidora.

$$H_f = h_0 + hf_{li} + P_T \quad (26)$$

Presión al inicio de la distribuidora.

$$H_{li} = H_f + hf_{f-li} + \Delta Z_{f-in} \quad (27)$$

Variación de presión en la distribuidora.

$$\Delta H = |H_{li} - H_f| \quad 20\%H_e \quad (28)$$

Ecuaciones utilizadas para la variante B.

Presión al inicio del lateral.

$$h_0 = H_e + (h_f) + Z_{li} \quad (29)$$

Pérdidas por rozamiento en el lateral.

$$hf_{li-T} = 0.473 \times Q_T^{1.7} \times L_{li} \quad (30)$$

$$hf_{li-T} = K \times Q_T \times \left( \frac{S_e + L_e}{S_e} \right)$$

Caudal en el lateral.

$$Q_{li} = N_e \times Q_e \times e \quad (31)$$

Presión mínima en el lateral.

$$h_m = h_0 - h_f - Z_{li} \quad (32)$$

Variación de presión en el lateral.

$$h_{li} = h_0 - h_{mín} \quad (33)$$

Velocidad en un tramo de la distribuidora.

$$V_T = \frac{Q_T}{A_T} \quad (34)$$

Pérdidas por rozamiento en un tramo de la distribuidora.

$$H_T = J_T \times L_T \quad (35)$$

Tabla para el cálculo de la distribuidora.

TRAMOS	Q <sub>T</sub> (L/s)	φ <sub>T</sub> (mm)	V <sub>T</sub> (m/s)	L <sub>T</sub> (m)	Hf <sub>T</sub> (m)	∧Z <sub>T</sub> (m)	Hi (mca)
1	2,70	44,4	1.74	8	0.054	-0.23	Ho
2	2,40	35,8	2.38	8	0.12	-0.23	Ho - 0.284
3	2,10	35,8	2.08	8	0.097	-0.23	Ho - 0.604
4	1,80	35,8	1.78	8	0.074	-0.23	Ho - 0.96
5	1,50	35,8	1.49	8	0.054	-0.23	Ho - 1.265
6	1,20	35,8	1.19	8	0.036	-0.23	Ho - 1.549
7	0,90	35,8	0.89	8	0.022	-0.23	Ho - 1.815
8	0,60	24,8	1.24	8	0.062	-0.23	Ho - 2.06
9	0,30	20,4	0.91	8	0.046	-0.23	Ho - 2.359
10							Ho - 2.635
<b>TOTALES</b>	<b>3.00</b>			<b>72</b>		<b>-2.07</b>	<b>dHo=-13.53</b>

$$H_1 = H_0$$

$$H_2 = H_0 - hf_{T1-2} - Z_{T1-2} \quad (36)$$

$$H_n = H_0 - hf_{T1-n} - Z_{T1-n}$$

$$\frac{H_0}{N_t} = h_0 \quad (37)$$

$$H_{mín} = H_0 - H_1 \quad (38)$$

$$H_{mín} = H_{mín} - h_u \quad (39)$$

$$H_v = H_0 + H_{T_{H0-v}} + Z_{T_{H0-v}} \quad (40)$$

### II.3.2.- Resultados.

Parámetros	Simplificado	No simplificado
$h_0$ (m )	20.73	17.08
$h_{mín}$ (m )	12.61	14.99
$h$ (m )	8.120	2.09
$H_0$	18.54	15.73
$H_{MínD}$	22.23	13.09
$H_{MínP}$	blanco	
$H_v$	19.54	16.73

### II.3.3.- Análisis.

La presión al inicio del lateral en la variante A ( $h_o = 16.68$  mca) resultó menor que en la variante B ( $h_o = 18.69$  mca), el análisis de estos resultados muestra que para iguales diámetros de lateral (25 mm) la diferencia entre los valores, se debe a que en la primera variante las pérdidas por rozamiento se obtienen de un modo directo y utilizando el coeficiente de pérdidas por salidas múltiples uniformemente espaciadas ( $F = 0.4$ ); resultando que ( $H_{f_{LAT}}$  variante A = 0.88 mca), mientras que ( $H_{f_{LAT}}$  variante B = 1.69 mca), ya que las mismas se obtiene del cálculo tramo a tramo y la posterior sumatoria de los valores. A partir de los resultados anteriores se puede inferir una conclusión errónea: la variante A exigirá menos prestaciones en la instalación de bombeo.

Como consecuencia de lo anterior la presión mínima en el lateral resultó igualmente menor en la variante A ( $h_{mín} = 13.80$  mca) por ( $h_{mín} = 15.69$  mca) la variante B y por consiguiente la variación de presión a lo largo del lateral que es un parámetro indicador de la uniformidad de distribución de los emisores, resulta menor en la variante A ( $h_{LAT} = 2.88$  mca) que en la variante B ( $h_{LAT} = 3.69$  mca).

Sin embargo la restricción del diseño en la primera variante establece que ( $h_{LAT} = 20\% H_e$ ), es decir, ( $h_{LAT} = 3.0$  mca), lo cual deja muy poco margen a la instalación, de modo que un incremento mínimo debido  $p_j$ , a la explotación normal de la instalación podría acarrear una disminución importante en la uniformidad de distribución de los emisores, afectado la rentabilidad de la instalación.

Por otro lado la restricción de diseño establecida para la variante B establece que el valor de todas las presiones ( $h_o$  y  $h_{mín}$ ) debe estar dentro del rango de compensación del gotero como garantía del 90 % de uniformidad de distribución de los caudales. Desde el epígrafe II.2.4 se comprueba que esta condición se cumple significativamente e infiere la viabilidad de evaluar mayores longitudes de lateral o menores diámetros de los mismos. Cuestión esta que hace más válida la relación BENEFICIO/COSTO, que es uno de los criterios de selección establecidos en el epígrafe I.1.6 de la Revisión Bibliográfica.

Con relación al diseño de la distribuidora la restricción de diseño de la variante A ( $H_{DIST} = 20 \% H_e$ ), no aplica para el diseño de sistemas de riego localizado por lo no incidencia de la velocidad de los vientos predominantes en este parámetro y por la incidencia del riesgo de obturación de los emisores y el hecho de que los moldes de para la fabricación de los mismo no garantiza que todos tengan el mismo diámetro de salida; cuestión de demostrada importancia en el funcionamiento hidráulico de dispositivos de emisión que entregan el caudal por la disipación de la energía). Esta característica hace más válida la restricción de diseño para la variante B (el valor de todas las presiones ( $H_o$ ;  $H_{MÍNdist}$  y  $H_{MÍNparcela}$ ) debe estar dentro del rango de compensación del gotero como garantía de la adecuada uniformidad de distribución de los caudales en la parcela de riego:  $CU = 90 \%$ ).

También es importante notar que en la variante A, el diseño simplificado establece tuberías distribuidoras de un solo de un solo diámetro (a lo sumo dos) y debido a estos el régimen de presiones en la misma no es el más apropiado para garantizar las presiones necesarias al inicio de cada lateral, debido entre otras razones a que la velocidad de circula el agua por la tubería en tramos específicos. Además está el hecho de que la presión en la válvula que es la que más influye en las prestaciones del equipo de bombeo resulta innecesariamente mayor en la variante A ( $H_{val} = 19.54$  mca) que en la variante B (16.73 mca).

## **CONCLUSIONES FINALES**

1. Se establecieron parámetros que permitieron identificar las influencias del diseño hidráulico simplificado en las prestaciones de las instalaciones de riego localizado.
2. La utilización del coeficiente de pérdidas por salidas múltiples uniformemente espaciadas, disminuye el valor de las pérdidas de carga en el lateral por debajo del valor real.
3. La restricción de diseño de la variante A no aplica para el diseño hidráulico de sistemas de riego localizado.
4. El cálculo de la tubería distribuidora a partir del procedimiento establecido en la variante B es más riguroso y válido que el que se aplicó en la variante A.

**Recomendaciones.**

1. Realizar investigaciones similares para comparar el comportamiento de los parámetros analizados en el caso de parcelas de riego irregulares.
2. Realizar la comparación del diseño hidráulico de la instalación para emisores no autocompensantes.
3. Realizar la comparación para otras representaciones en planta de los laterales.

## Referencias Bibliográficas.

1. F. Pizarro C., Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF). Goteo, microaspersión, exudación, 3ra ed., Madrid: Mundi-Prensa, 1996, p. 513.
2. Keller, J y Rodrigo, J. (1979): Trickle irrigation lateral design. ASAE Technical Paper. No. 79- 2.570. USA. 26p.
3. Keller, J. B. (1987). Sprinkler and Trickle irrigation. New York: EEUU.
4. Prins, K., Kay, M., Heibloem, M., Hoevenaars, J., Brouwer, C. (1992): "Irrigation Methods. Irrigation Water Management". Estudio FAO Riego y Drenaje. Training Manual No. 5, ROMA, 1992, 66 p.
5. Vargas, R. P., Jocick, M. A., Dorta, A. A., Álvarez, A. R.: Consideraciones para el diseño de Sistemas de riego por goteo y microaspersión. Monografía de Compilación (Texto en preparación). 2005.
6. L. S. Pereira, P. Paredes, F. Melton, L. Johnson, M. Mota, y T. Wang, «Prediction of crop coefficients from fraction of ground cover and height: Practical application to vegetable, field and fruit crops with focus on parameterization», Agric. Water Manag., vol. 252, p. 106663, 2021, doi: 10.1016/j.agwat. 2020.106663.
7. Amir I. Sprinkle and Trickle Irrigation. International Institute for Infrastructural, Hydraulic and Environmental Engineering. The Netherlands: IHE Delft; 1998.
8. Boswel MJ. Micro Irrigation Design Manual. España Sevilla; 1990.
9. Selléz, G. et al (2003): 3er Diplomado Actualización en Técnicas de Riego. Corporación Santo Tomás. UST. Santiago de Chile.
10. López Sánchez, J. L. de Paco (2003): Fundamentos del cálculo hidráulico en los sistemas de Riego y Drenaje. Ediciones Mundi – Prensa CENTER. IRYDA. España.