

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"**

DIVISION DE INGENIERIA



Descripción y Metodología de Diseño de los Sistemas de Riego

Por:

Tomas Reyna Cepeda

MONOGRAFIA

**Presentada como Requisito Parcial para
Obtener el Título de:**

Ingeniero Agrónomo en Irrigación

Buenvista, Saltillo, Coahuila, México.

noviembre de 2000

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

**DIVISION DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE**

Descripción y Metodología de Diseño de los Sistemas de Riego

**Realizado por:
Tomas Reyna Cepeda.**

Que somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito
parcial para obtener el título de:

Ingeniero Agrónomo en Irrigación

COMITÉ PARTICULAR

MC. Lindolfo Rojas Peña
Asesor Principal

MC. Luis Edmundo Ramírez Ramos
Asesor

Dr. Javier de Jesús Cortes Bracho
Asesor

MC. Gregorio Briones Sánchez
Asesor

Ing. Jesús R. Valenzuela García
Coordinador de la División de Ingeniería

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

noviembre de 2000.

AGRADECIMIENTOS

AL CREADOR DIOS POR HABERME DADO LA VIDA Y SALUD, ADEMÁS DE PERMITIRME CONCLUIR MIS ESTUDIOS

A LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO QUE ME BRINDO LA OPORTUNIDAD DE REALIZAR UNA CARRERA PROFESIONAL, ASÍ MISMO MI DESARROLLO PROFESIONAL

A MIS MAESTROS QUE CON SUS ENSEÑANZAS LAS CUALES ME FACILITARON AMPLIAR MI CRITERIO Y MOTIVARON LA NECESIDAD DE INCREMENTAR MIS CONOCIMIENTOS ACADÉMICOS, DONDE DESARROLLE HABILIDADES EN MI BENEFICIO Y DE LA INSTITUCIÓN DONDE PRESTO MIS SERVICIOS

UN AMPLIO RECONOCIMIENTO A MIS ASESORES POR SU ENTUSIASMO Y ORIENTACIÓN EN ESTE TRABAJO BRINDANDO SIEMPRE LO MEJOR DE SI MISMOS

AL MC. LINDOLFO ROJAS PEÑA
AL DR. JAVIER DE JESUS CORTES BRACHO
AL MC. GREGORIO BRIONES SANCHEZ

MUY ESPECIALMENTE AL MC. LUIS EDMUNDO RAMIREZ RAMOS MI AGRADECIMIENTO, YA QUE CON SU ENORME AYUDA PUEDE LOGRAR ESTE TRABAJO ¡MUCHAS GRACIAS!

CONTENIDO

INDICE GENERAL	i
IDICE DE FIGURAS	ii
INDICE DE CUADROS	iii
RESUMEN	iv
INTRODUCCION	1
DISTRIBUCION GEOGRAFICA DE LOS RECURSOS HIDRAULICOS Y SU UTILIZACION EN MEXICO	2
AFORO DEL AGUA DE RIEGO	4
Métodos de Aforo	5
Método Directo	5
Sifones	8
Calibración de Sifones	9
Método de Area Velocidad	11
Métodos para Estimar la Velocidad del Flujo	13
Método que Emplea Contracción en el Conducto	29
Vertedores	29
Reglas de Instalación para Vertedores	35
Aforador Parshall	40
Medidor Venturi	42
EFICIENCIAS DEL RIEGO	45
Del Deposito	46
De Conducción	47
De Aplicación	47
Del Proyecto	48
De Distribución	48
De Almacenaje	50
CRITERIOS DE SELECCIÓN ENTRE LOS MÉTODOS DE RIEGO	52
Cultivo	52
Topografía	52
Económico	53
Suelo	53
Agua	53

Factores que Favorecen la Selección del Método de Riego	53
MÉTODOS DE RIEGO	54
Por Superficie	54
Presurizado	55
Sub Superficial	55
RIEGO POR SUPERFICIE	56
Riego por Surcos	56
Rectos	56
Factores de Diseño en Riego por Surcos	58
Diseño de Riego por Surcos	64
Riego por Melgas	70
Factores de Diseño del Riego por Melgas	71
Diseño de Riego por Melgas	76
Método de Gasto Unitario	76
Método de Lewis y Milne	78
Evaluación de las Pruebas de Riego	83
RIEGO PRESURIZADO	92
Componentes	92
Emisores	92
Tuberías	99
Sección del Riego	101
Cabezal de Control	102
Medidores de Gasto	102
Reguladores de Presión	103
Filtros	105
RIEGO LOCALIZADO	107
Sistema de Goteo	107
Sistemas de Riego con Burbujeadores	108
Sistemas de Microaspersión	108
DISEÑO DE SISTEMAS DE RIEGO LOCALIZADO	108
Información Requerida	109
MÉTODO DE CALCULO	110
EJEMPLOS	119
RIEGO POR GOTEO PUNTUAL	119
RIEGO POR CINTA	129
RIEGO POR MICROASPERSIÓN	136
RIEGO POR ASPERSION	142
CAÑÓN VIAJERO	156
PIVOTE CENTRAL	164
DRENAJE DE TIERRAS AGRICOLAS	173

Tipos de Problemas de Drenaje	173
Origen de los Problemas	174
Tipos de Drenes	174
Tipo de Tubos Utilizados en el Drenaje Subterráneo	175
Materiales Filtroprotectores	175
BIBLIOGRAFIA	177

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Aforo Volumétrico de un Grifo Casero y de un Aspersor doble Boquilla	6
Figura 2 Medidor de Gasto tipo Hélice	7
Figura 3 Un amplio rango de Medidores para Irrigación	7
Figura 4 Aforador Volumétrico de Descarga y Medición de Carga para sifones	8
Figura 5 Medición de la Carga Hidráulica utilizando Manguera Transparente	9
Figura 6 Secciones Geométricas Regulares con Area de Conducción	11
Figura 7 Sección Geométrica Irregular con su Area de Conducción	12
Figura 8 Distribución Típica de Velocidades de Flujo en un Canal	12
Figura 9 Distribución Típica de las Velocidades del Agua dentro de un Tubería Recta y Uniforme y Trabajando Operando a Flujo Completo	13
Figura 10 Medición de la Velocidad Superficial del Agua con un Flotador	16
Figura 11 Características del Canal de Prueba	17
Figura 12 Aforo Químico de una Corriente y toma de Muestra	19
Figura 13 Tipos de Molinete Usados para el Aforo de Acequias, Diques y Canales	20
Figura 14 Sección Transversal de la Acequia en el Punto de Aforo	22
Figura 15 Instalación de los Tubos Pitot a $\frac{1}{4}$ del Radio de la Tubería para Medir la Velocidad Promedio del Flujo	24
Figura 16 Tipos de Tubos Pitot	25
Figura 17 Método de la Trayectoria Aplicado en el Aforo de una Bomba con Tubo de Descarga Libre	26
Figura 18 Tubería de Descarga Vertical	28
Figura 19 Vertedor Rectangular de Cresta Aguda con Contracciones Laterales	31
Figura 20 Vertedor Triangular	33
Figura 21 Vertedor Trapézoidal con Vista Frontal	34
Figura 22 Medición de Carga sobre un Vertedor	35
Figura 23 Orificio de Descarga Libre	37
Figura 24 Orificio Ahogado	38
Figura 25 Orificio Parcialmente Ahogado	38
Figura 26 Aforador Parshall	41

Figura 27 Canaleta Parshall en Planta	41
Figura 28 Canaleta Parshall en Elevación	42
Figura 29 Medidor Venturi	43
Figura 30 Inyectores Tipo Venturi	44
Figura 31 Perfil de Distribución del Agua en el Riego por Superficie y Diferentes Situaciones que se Pueden Presentar de	50
Figura 32 Disposición del Riego por Surco Rectos	58
Figura 33 Evaluación del Riego por Superficie Surcos y Melgas	59
Figura 34 Curva de Avance de Diferentes Gastos para Determinar la Longitud Máxima de Surcos	61
Figura 35 Disposición de Surcos en Contorno	67
Figura 36 Método de Riego por Corrugación para Cultivo de Avena, trigo y Cebada	68
Figura 37 Método de Riego en Zig-Zag	68
Figura 38 Método de Riego en Cama Melonera	69
Figura 39 Método de Riego por Melgas	71
Figura 40 Plano Topográfico con Curvas a Nivel para Definir la Dirección Trazo del Riego	73
Figura 41 Monograma para Estimar la Corriente Unitaria	77
Figura 42 Gráfica de Lewis y Milne	82
Figura 43 Evaluación del Riego por Superficie	85
Figura 44 Comportamiento de las Curvas de Avance y Recesión	86
Figura 45 Perfil de Humedecimiento en el Área de Prueba	86
Figura 46 Riego de Melgas en Contorno	88
Figura 47 Riego por Cuadro o Cajetes	90
Figura 48 Riego por Goteo para Cultivos en Hileras	94
Figura 49 Diferentes Modelos de Emisores en el Riego por Goteo	95
Figura 50 Burbujeadores Utilizados para Regar Árboles y Cajetes	96
Figura 51 Sistema de Riego por Microaspersión en Frutales	97
Figura 52 Aspersor de Impacto para uso Agrícola	98
Figura 53 Tipos de Aspersores Utilizados en el Riego por Aspersión	98
Figura 54 Componentes de un Sistema de Riego por Aspersión	100
Figura 55 Tubería para Drenaje Agrícola Utilizada a Nivel Mundiales	176
Figura 56 Filtros Geotextiles para Envolver la Tubería de Drenaje	177

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Obtención de Datos para Calibración de Sifón	10
Cuadro 2 Regresión Lineal de Calibración de Sifones	10
Cuadro 3 Valores del Coeficiente de Rugosidad de Manning	15
Cuadro 4 Registro de Datos para un Aforo con Molinete y Calculo de Gasto	22
Cuadro 5 Datos de Campo para Determinar su Gasto por el Método de las Coordenadas	28
Cuadro 6 Datos de Campo Obtenidos para Diferentes Tipos de Vertedores	36
Cuadro 7 Calculo de Gasto para Cada Vertedor	36
Cuadro 8 Porcentaje de Perdidas que se Tiene para Diferentes Tipos de Suelo	48
Cuadro 9 Componentes para Determinar el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen	49
Cuadro 10 Longitud Máxima Recomendable para el Riego por Surcos	61
Cuadro 11 Concentración de Datos para la Evaluación del Riego por Superficie	84
Cuadro 12 Concentración de Datos para la Determinación de Variables del Coeficiente de Uniformidad	87
Cuadro 13 Características Hidráulicas de Emisores de Riego Localizado	92
Cuadro 14 Características Hidráulicas de Emisores de Riego por Aspersión	93
Cuadro 15 Coeficiente de Variación del Gasto para Goteros	94
Cuadro 16 Coeficientes y Exponentes de Ecuaciones Carga-Gasto para Goteros	96
Cuadro 17 Coeficientes y Exponentes de Ecuaciones Carga-Gasto de Microaspersores	97
Cuadro 18 Coeficientes y Exponentes de Ecuaciones Carga-Gasto de Aspersores Estándar y Gigantes	99
Cuadro 19 Características de Inyector por Succión	104
Cuadro 20 Características de Hirociclones	105
Cuadro 21 Coeficientes de Calculo de Numero de Salidas	114
Cuadro 22 Coeficientes de Calculo de Perdidas de Carga	116
Cuadro 23 Resultado de las Iteraciones para Calcular N con la Regante de Bajada (Goteo)	121
Cuadro 24 Resultado de las Iteraciones para Calcular N con la Regante de Subida (Goteo)	121

Cuadro 25 Resultado de las Iteraciones para Calcular N con Distribuidor de Bajada (Goteo)	123
Cuadro 26 Resultado de las Iteraciones para Calcular N con Distribuidor de subida (Goteo)	123
Cuadro 27 Características de las Tuberías de Conducción	127
Cuadro 28 Perdidas de Carga Hidráulicas en el Sistema	127
Cuadro 29 Carga Hidráulica Total Necesaria del Sistema	129
Cuadro 30 Características Hidráulicas de las Tuberías	135
Cuadro 31 Perdidas de Carga Hidráulicas	136
Cuadro 32 Velocidad Máxima de Aplicación (mm/h) para Diferentes Suelos y Pendientes	143
Cuadro 33 Espaciamiento Máximo entre Aspersores	144
Cuadro 34 Eficiencia de Riego para Diferentes Climas	147
Cuadro 35 Valores Típicos de C para ser Usado en la Ecuación de Hazen-Williams	147
Cuadro 36 Coeficientes de Salidas Múltiples	147
Cuadro 37 Lista de Materiales Requeridos en el Sistema de Riego Portátil	156
Cuadro 38 Gastos Típicos y Diámetros de Mojado para Cañón con un Angulo de 24° , Operando sin Viento	158
Cuadro 39 Selección de Manguera de Cañón Viajero y Perdidas por Fricción Estimadas en m/100m.	160
Cuadro 40 Factores de Ajuste del Diámetro de Mojado para Diferentes Velocidades	160
Cuadro 41 Espaciamiento entre Líneas de Recorrido del Cañón	162
Cuadro 42 Perdidas de Carga de Todos los Componentes del Sistema	163
Cuadro 43 Lista de Partes Requeridas para Instalar el Sistema de Riego del Cañón Viajero	163

RESUMEN

En este trabajo tiene como finalidad poner a disposición de todas aquellas personas interesadas por la practica del riego. Se consideran aspectos con respecto a la distribución geográfica de los recursos hidráulicos y su utilización en México.

Dado que en las regiones áridas y semiáridas del País es necesario utilizar eficientemente el recurso hídrico para lo cual es necesario hacer la medición del mismo a través del aforo, utilizando los métodos mas adecuados a las condiciones del área en donde se aplique el riego ya que este tiene como finalidad, el reponer al nivel optimo de humedad del suelo ocasionado por la insuficiente precipitación pluvial. Siendo una respuesta a un de las incógnitas de; **Cuanto, Cuando y Cómo** regar o aplicar el agua.

Las eficiencias son factor fundamental como indicativos de el uso eficiente del agua de riego, es necesario utilizar las características de cada localidad para hacer la elección mas adecuada del sistema de riego en función de los criterios de selección para los métodos de riego.

Por todo lo anterior se describe los métodos de riego tanto por superficie como los de riego a presión, con respecto a sus ventajas, limitaciones y adaptabilidad para cada condición geográfica, considerando el agua, suelo, planta y clima, así como el aspecto socioeconómico,

En este documento se presentas las diferentes metodologías de diseño para cada tipo de sistema de riego así como ejemplos ilustrativos para cada caso.

Por ultimo se hace una descripción general de lo que es el Drenaje agrícola, tipos de sistemas de drenaje, problemas que lo ocasionan y tipo de materiales utilizados .

INTRODUCCION

La práctica artificial del riego a las tierras de cultivo han sido determinantes en el surgimiento de las grandes civilizaciones desde la antigüedad, principalmente en las regiones áridas y semiáridas donde la economía depende básicamente de la agricultura. Sin embargo, durante muchos años los agricultores del norte de México y de otras partes del mundo han utilizado irracionalmente el agua para riego, aplicada en exceso a los cultivos, con la creencia equivocada, de que al aplicar mayor cantidad de agua, mayor será la producción. Debido a esta creencia las eficiencias con que se ha venido efectuando el riego han variado en forma considerable, tomando en ciertos casos valores del 0 hasta el 65 %. En la actualidad esta tendencia ya no se presenta en forma general ya que el déficit del vital líquido no permite la aplicación en exceso.

La irrigación tiene como objeto principal, reponer el nivel óptimo de humedad del suelo ocasionado por la insuficiente precipitación pluvial, esta situación hace necesario compensar los requerimientos de agua en los cultivos.

Durante la aplicación del riego se pueden presentar diferentes condiciones que pueden ser benéficas o perjudiciales tales como:

- **Asegura el lavado de sales manteniendo un balance salino del suelo.**
- **Mejora las condiciones físicas de laboreo del suelo y de residuos.**
- **Acumulación de agua en las partes bajas.**
- **Arrastre de fertilizantes y nutrientes**
- **Pérdidas de agua por percolación profunda**
- **Otras actividades**

Debido a estas circunstancias, el conocimiento técnico en el manejo del agua, ha logrado un importante desarrollo durante los últimos 60 años, en el que se han involucrado criterios y procedimientos más precisos para racionalizar el riego, esto se ha logrado mediante un adecuado manejo de los factores, agua, suelo, acondicionamiento de tierras y el empleo de infraestructura que permiten lograr altas eficiencias de conducción, aplicación y distribución del agua.

Al analizar la factibilidad para establecer un proyecto de riego, se deben tomar en cuenta principalmente los criterios fundamentales de la irrigación como son: El **¿Cuanto regar?**, Técnicamente este criterio está regido por la cantidad de agua que se debe aplicar durante un riego y comúnmente se conoce como la lámina de riego, se aplicará de acuerdo a las características de suelo. El **¿Cuándo regar?**; que representa el tiempo óptimo en el que se debe aplicar cada riego durante el desarrollo del cultivo, este depende de las necesidades de agua que requiere el cultivo, de la cantidad y del abatimiento permisible de la humedad del suelo. El **¿Como regar?**; indica la forma de aplicación del agua al terreno del cultivo que definido por los método de riego.

Cuando se dominan estos criterios, la aplicación del agua al suelo, deja de ser una práctica empírica, para ser elevada a la categoría de técnica, con jerarquía similar a las demás disciplinas que contribuyen en la proyección y ejecución de las obras de ingeniería de un sistema de riego.

Distribución Geográfica de los Recursos Hidráulicos y su Utilización en México.

De acuerdo a las estadísticas de la FAO en el año de 1979, estiman que la superficie que se cultiva bajo condiciones de riego en el mundo, era aproximadamente de 233,637 millones de hectáreas; lo cual representa un 13 % del área global arable. Este análisis muestra claramente el papel tan importante que desempeña el agua en la producción de alimentos, este porcentaje se encuentra distribuido en los países que potencialmente poseen grandes superficies de riego como son: Estados Unidos de Norteamérica, Unión Soviética, China, India, Pakistán, y otros.

México cuenta con una superficie total de 197,089 millones de hectáreas, de las cuales el 67% está clasificada por zonas áridas y semiáridas; el 33% como zonas húmedas y subhúmedas. La agricultura de nuestro país se practica aproximadamente en 24 millones de hectáreas, de estas 6.1 millones de hectáreas se cultivan bajo condiciones de riego, que representan el 25.4 % de superficie agrícola cultivada la importancia de esta superficie es que genera el 56% del valor total de la producción agrícola nacional, el resto de la superficie, 76%, se explota bajo condiciones de temporal.

Estudios realizados por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, indican que la infraestructura hidráulica construida por el Estado, beneficia a 3.4 millones de hectáreas a las cuales se les denomina gran irrigación que atiende una organización compuesta por 143 distritos de riego. La pequeña irrigación se practica en 869,000 hectáreas, que es manejada por 6,279 unidades de riego, estas sumadas a lo estimado por el sector privado, que son de 1.94 millones de hectáreas, dan un total aproximado de 6.1 millones de hectáreas bajo condiciones de riego.

Estas estadísticas indican, que aproximadamente el 64% corresponde a distritos de riego, el 17% a unidades de riego, y el 19% al sector privado. La distribución de las áreas bajo riego se encuentra principalmente en los Estados de Sonora y Sinaloa, que cuentan con grandes obras hidráulicas para riego y en menor proporción en los Estados de Tamaulipas, Guanajuato, Durango, Aguascalientes, Coahuila, etc.

Dado lo anterior, el recurso agua juega un papel muy importante en la producción agrícola, por lo tanto, se deben desarrollar técnicas que permitan optimizar al máximo este recurso. Entre otras las siguientes: modernización de los sistemas de riego, acondicionamiento de sistemas de almacenamiento, manejo del agua en el ámbito parcelario, manejo en la distribución del agua, y otras.

AFORO DEL AGUA DE RIEGO

En la era moderna, los recursos hidráulicos continúan siendo muy importantes para el desarrollo de las diversas actividades económicas, además de usos a que se destina como la agricultura, el abastecimiento rural, urbano, industrial, generación de energía, turismo, consumo humano y otros.

En las regiones áridas y semiáridas de nuestro país, el agua esta considerado como la parte central en la producción agrícola, por lo tanto, es necesario utilizar eficientemente toda el agua disponible aun en las regiones húmedas, logrando de esta forma mejorar las condiciones económicas al evitar el desperdicio de este recurso, dado lo anterior, es importante e indispensable conocer la cantidad de agua con que se cuenta mediante el aforo,

La medición del agua, es una de las practicas más importantes que se deben efectuar ya que dependiendo de la cantidad, se estará en condiciones de definir el área que se podrá regar, así como el método de riego que se debe seleccionar, este método a de ser capaz de aplicar el agua en volúmenes y proporciones que requieren los cultivos.

El aforo de agua para riego en las regiones áridas y semiáridas, es un problema fundamental, debido a las demandas irregulares de los agricultores sobre este recurso, ya que es regido básicamente por los requerimientos necesidades de los cultivos lo que hace necesario medir constantemente el agua que se utiliza, de esto dependerá el buen suministro del elemental líquido.

Para medir el gasto disponible se han utilizado diferentes métodos, algunos de ellos requieren de equipos muy complicados y costosos, otros son sencillos y económicos, sin embargo, en términos generales se cuenta con estructuras aforadoras de fácil construcción y operación, que proporcionan una buen precisión en la medición del gasto.

El método más eficiente depende del volumen de agua, las condiciones bajo las que se efectuara la medición y el índice de exactitud que se desea obtener, por lo tanto, hay que tener cuidado en la elección del método de aforo a utilizar ya que presentan ventajas y limitaciones que deben ser consideradas de acuerdo a necesidades específicas en cada caso.

Métodos de Aforo

Los métodos de aforo para determinar el flujo de agua en canales, tuberías, u otras estructuras conductoras, pueden ser clasificados en tres categorías:

- Métodos Directos (volumétricos)
- Métodos de Area - Velocidad
- Métodos que Emplean Contracción en el Conducto

Los métodos mencionados deben cumplir con las siguientes condiciones:

- Las mediciones deben realizarse en forma sencilla y rápida, para el personal de campo deberá disponer de tablas o ábacos que permitan ahorrar todo tipo de calculo.
- Limpiarlo fácilmente e incluso calibrarlo para comprobar que no presente alteraciones.
- Soportar el desgaste provocado por la circulación del agua.
- Los costos de construcción, instalación, conservación y uso deben ser acordes a la región.
- Los aforadores no deben ofrecer resistencia a la circulación del agua, ya que provocan una perdida de carga mínima.
- El aforador debe adaptarse a un amplio rango de mediciones.
- Debe proporcionar datos lo mas aproximados posibles.

Método Directo

Este es uno de los métodos más sencillos que existen para medir gastos pequeños aportados a través de:

- Sifones
- Aspersores
- Goteros
- Descarga de bombas
- Otras estructuras

El conocimiento del gasto se obtiene, midiendo el tiempo de llenado de un recipiente de volumen conocido, posteriormente mediante la relación volumen / tiempo, se determina dicho gasto.

$$Q = \frac{V}{T}$$

Donde :

Q = Gasto (m³/seg.)

V = Volumen (m³)

T = Tiempo (segundos)

El volumen se obtiene de acuerdo a la forma del recipiente, para conocerlo se requiere que se realicen varias mediciones del tiempo de llenado, para finalmente al utilizar el tiempo promedio en la relación de gasto otra forma de conocer el volumen es aplicando la ecuación:

$$V = \pi r^2 h \text{ o}$$

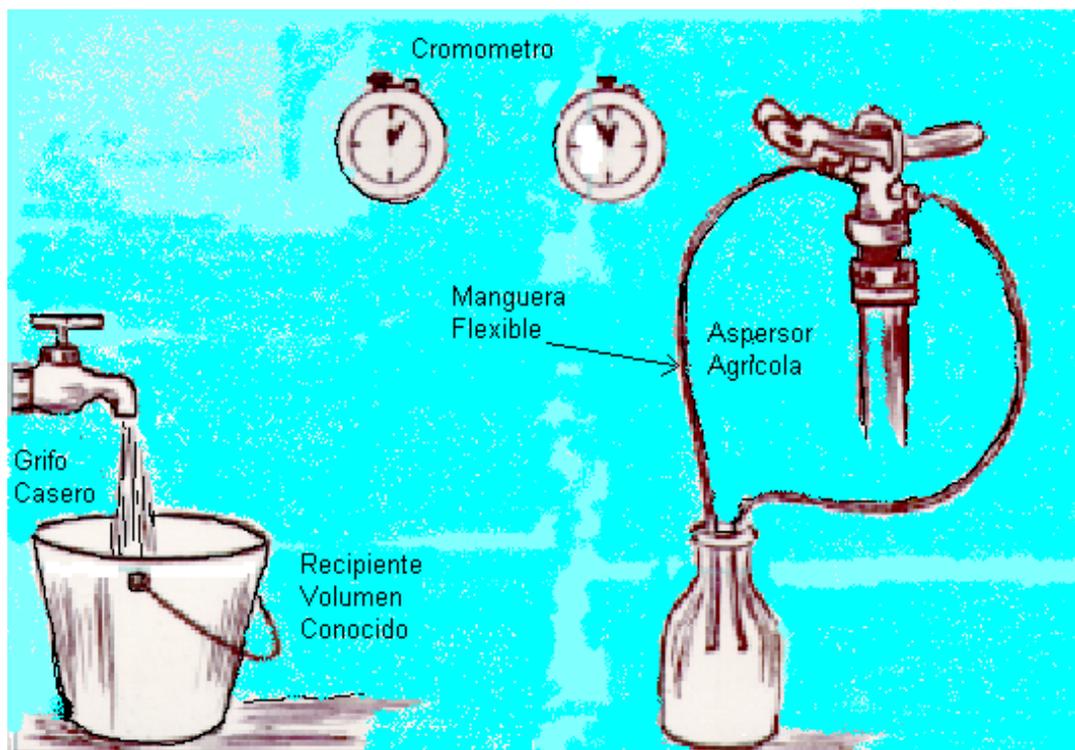


Figura 1. Aforo Volumétrico de un Grifo Casero y de un Aspersor de Doble Boquilla.

En la actualidad existen diferentes medidores comerciales que operan bajo el principio de aforo volumétrico directo, estas son:

- Medidor residencial, utilizando en tuberías de diámetro pequeño.
- Medidor de irrigación tipo hélice, el cual se instala en la salida del flujo de tuberías.
- Medidor de riego, instalados dentro de la tubería.

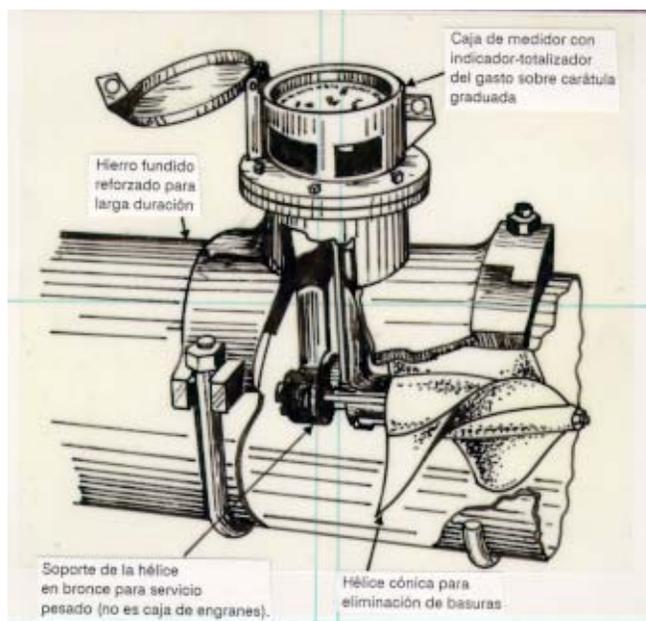


Figura 2. Medidor de Gasto Tipo Hélice con Transmisión Magnética y Totalizador de Volumen.

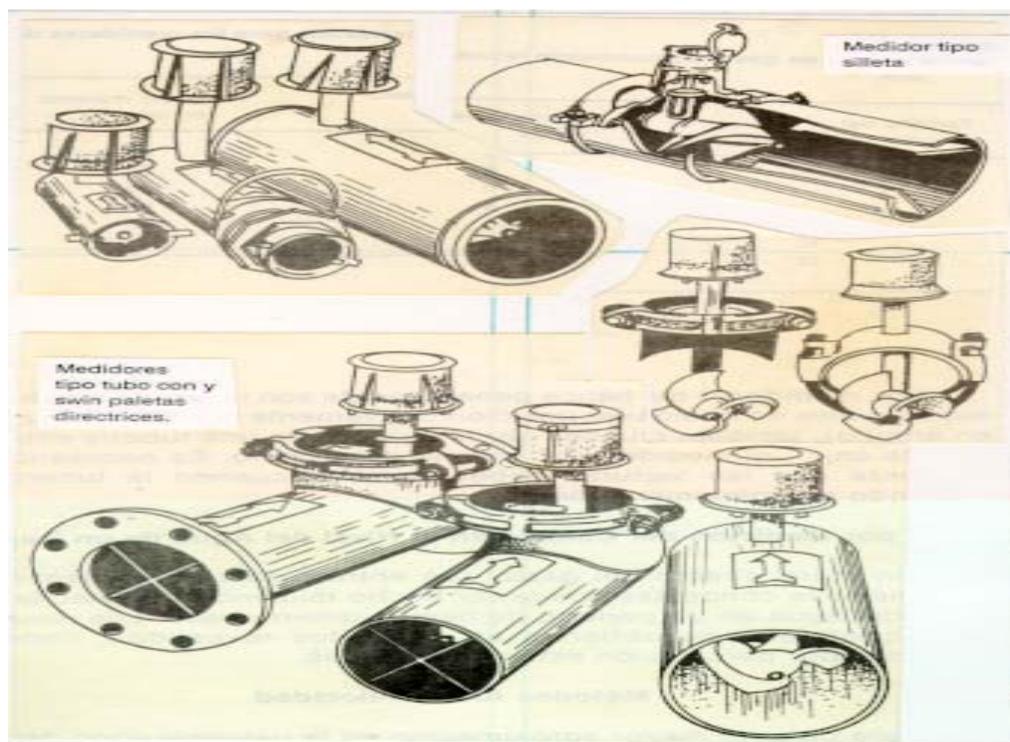


Figura 3. Un Amplio Rango de Medidores Para Irrigación es Ofrecido por Firmas Comerciales Para Tuberías de 2" A 72" de Diámetro (0.05-183m) Poseen Capacidades de 2 Hasta 2,250 Lps y Carátula Calibrada En Diversas Unidades

Sifones

Un sifón, es un pequeño tubo acomodado que se utiliza para elevar el agua de las acequias, regaderas o canales al pasarla sobre el bordo de este, y situarla en la cabecera del área de cultivo, sean surcos, melgas o cajetes.

La forma acodada del sifón permite reducir grandemente el riesgo de erosión ya que el chorro de agua impacta a la tierra bajo un ángulo de 45° grados y no directamente, por esta razón, se utilizan ampliamente en la aplicación del agua de riego ya que sus gastos pueden ser regulados o controlados.

Para que funcione, es necesario introducirlo por completo en el canal, regadera, u otros, con el propósito de desalojar plenamente el aire acumulado en su interior. Posteriormente se tapa el extremo de salida con la palma de la mano y se gira rápidamente para dejarlo montado sobre el bordo destapándose en forma inmediata, si se encuentra lleno de agua esta escurrirá de una forma continua, logrando de esta manera la continuidad del flujo.

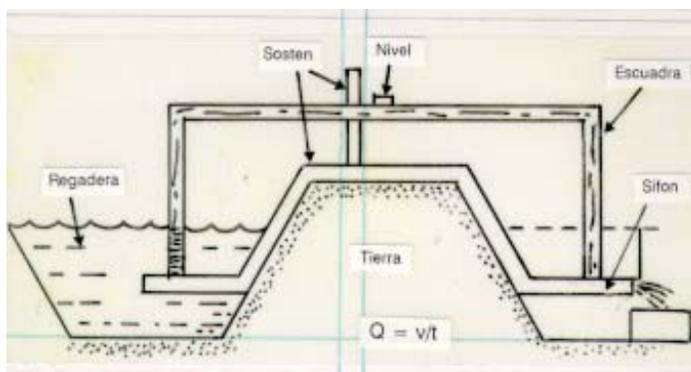


Figura 4. Aforo Volumétrico del Gasto Descargado y Medición de la Carga Para Calibrar un Sifón.

Para conocer el gasto que pasa por el sifón, se aplica el método de la relación volumen / tiempo o la ecuación teórica de gasto del sifón, esta es una función del área transversal de la sección y la velocidad del líquido definida por:

$$Q = A \times V$$

$$Q = 0.785 (d^2) (C) (2gh)^{1/2}$$

Donde :

Q = Gasto que sale por el sifón en m³/seg.

d = Diámetro del sifón en m.

C = Coeficiente que depende del tipo de material del sifón

h = Carga hidráulica en m.

Materiales Utilizados en la Fabricación de Sifones.

Los tipos de material mas comúnmente utilizados en la fabricación de sifones son: plástico, goma o aluminio, dentro de los primeros se encuentran los de polietileno que resultan mas resistentes aunque no se les maneje con cuidado, es más aconsejable utilizar los de color negro ya que soportan mejor la insolación ocasionada por los rayos solares. Los de aluminio resisten mejor tanto al trabajo como al sol, sin embargo, son mucho más caros que los de polietileno.

Calibración de Sifones. Es importante realizar la calibración, ya que en el campo es más tedioso estar calculando el gasto de cada sifón y esto se complica mas si se tienen diferentes cargas y diferentes diámetros. Para realizar la calibración, es necesario conocer la carga de agua que está actuando en los diferentes diámetros de sifones, esta medición debe hacerse con una escuadra en forma de U o por medio de una manguera flexible.

Si se utiliza el método volumétrico para conocer el gasto del sifón a diferentes cargas, es necesario realizar varias repeticiones con la finalidad de que el conocimiento del gasto sea más exacto.

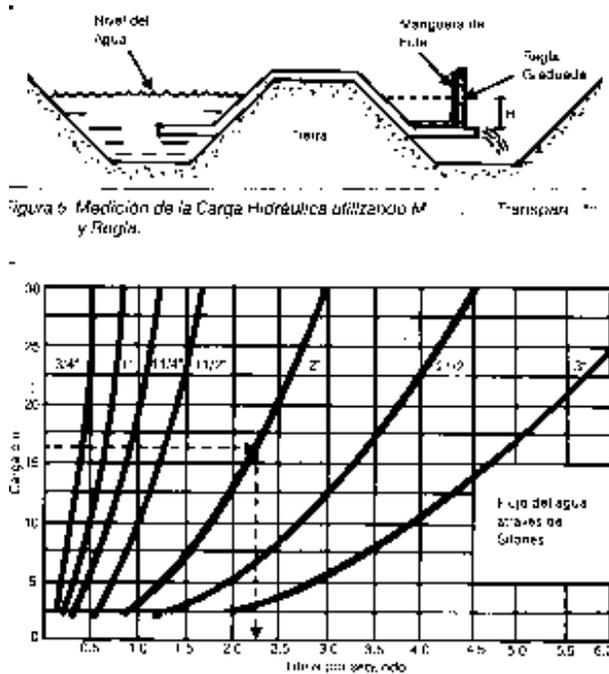


Figura 5. Medición de la Carga Hidráulica Utilizando Manguera Transparente y Curva de Calibración de Sifones, para Diferentes Diámetros.

Las cargas que se consideran en la calibración son variables, no es necesario utilizar las mismas cargas para cada calibración. Una vez tomada la información en el campo, se procede a obtener la ecuación de calibración para el diámetro de sifón seleccionado, debe utilizarse el modelo que se ajuste al comportamiento de la relación gasto contra carga, indicado como $Q = aH^b$, para obtener la ecuación se realiza una regresión, utilizando el gasto Q en Lps y la carga H en cm.

Posteriormente se gráfica en papel milimétrico la carga (H) contra descarga (Q), aplicando los valores de H en la ecuación para cada diámetro de sifón. Una forma de ejemplificar la metodología descrita, determine la ecuación de calibración para un sifón de aluminio de 2" de diámetro con la siguiente información.

Cuadro 1. Obtención de los Datos de Calibración de Sifones

h (cm)	Q(Lps)	V (lts)	T (seg.)	Q (Lps)
2.70	0.958	8.62	9	0.957
12.50	2.060	30.9	15	2.060
13.90	2.170	26.04	12	2.17
18.00	2.472	19.77	8	2.47
23.00	2.776	49.96	18	2.73
30.00	3.160	31.60	10	3.16
37.00	3.508	49.11	14	3.51

Cuadro 2. Regresión Lineal de la Calibración de Sifones

H (m)	Q Lps	Q Ajust	X	Y	XY	X ²	y ²
2,7	0,957	0,925812	0,431363764	-0,01908	-0,00823	0,186074	0,000364
12,5	1,60	1,952447	1,096910013	0,204119	0,22390	1,203211	0,041664
13,9	2,17	2,056023	1,1430148	0,336459	0,38457	1,306482	0,113205
18	2,47	2,331774	1,255272505	0,392696	0,49294	1,575709	0,154210
23	2,76	2,627362	1,361727836	0,440909	0,60039	1,854302	0,194400
30	3,16	2,990235	1,477121255	0,499687	0,73809	2,181887	0,249687
37	3,15	3,311713	1,568201724	0,498310	0,78145	2,459256	0,248313
Suma			8,333611897	2,353095	3,21313	10,76692	1,001846
Media			1,190515985	0,336156			
			B=	0,486902822			
			m=	-0,243509118			
			A=	0,5708091			

$$Q = AH^B$$

$$B = \frac{\sum XY - \sum X \bar{Y}}{\sum X^2 - \frac{\sum(X)^2}{N}}$$

$$m = (\bar{Y})[(B)(\bar{X})]$$

A = Antilog de m

$$R^2 = \frac{B(\sum XY - \sum X \bar{Y})}{\sum Y^2 - \frac{\sum(Y)^2}{N}}$$

Método de Área – Velocidad.

La determinación del gasto por este método en tuberías, acequias o canales, se basa principalmente en determinar el área de la sección transversal multiplicada por su velocidad promedio. Ambas variables se obtienen a través de mediciones directas; el área transversal, es fácil de determinarse tanto en tuberías como en canales de sección geométrica uniforme; sin embargo, en canales de forma irregular en su plantilla y taludes es necesario dividir el espejo del agua en varios segmentos equidistantes con proyecciones verticales hacia el fondo para formar subáreas de sección triangular, trapezoidal y rectangular.

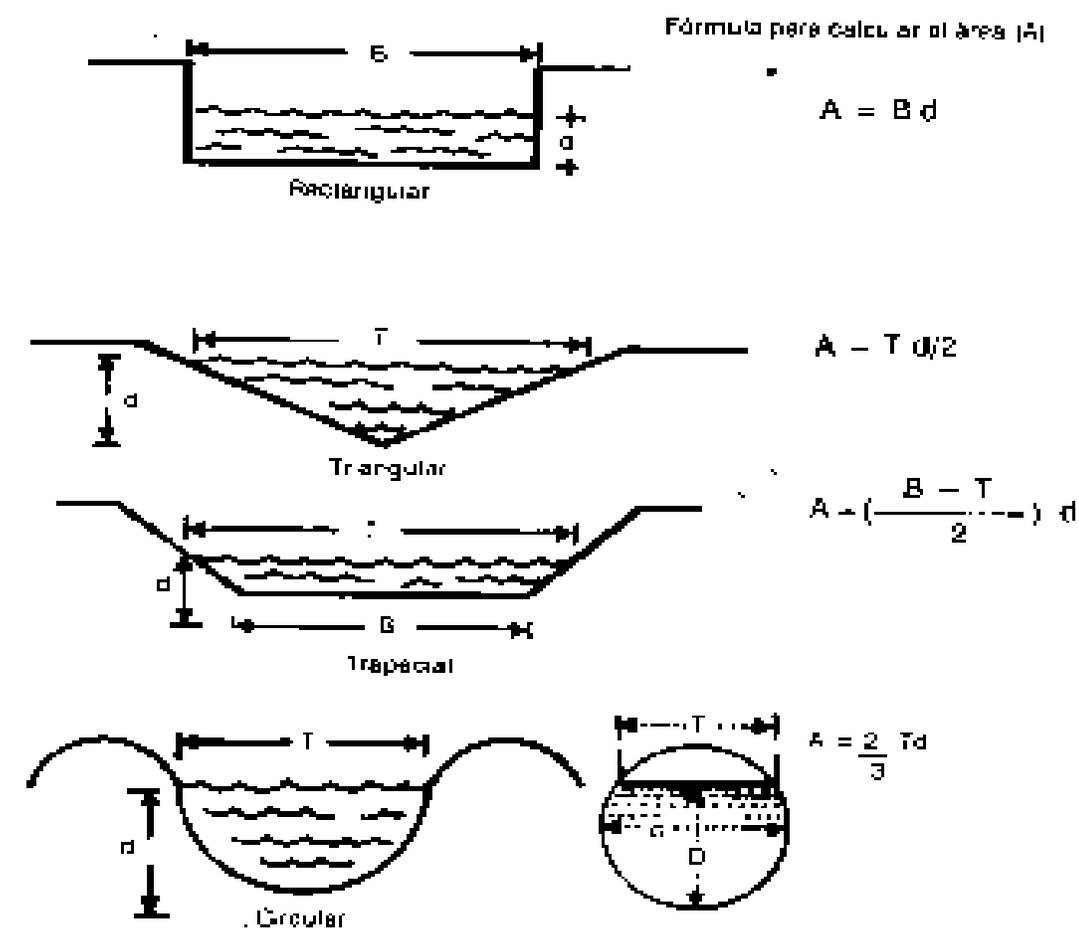


Figura 6. Secciones Geométricas Regulares con su Área de Conducción.

La forma más común de las estructuras que se utilizan en la conducción del agua para riego se presenta en la Figura 6 y 7 que corresponden a secciones geométricas regulares e irregulares con su fórmula para el cálculo del área.

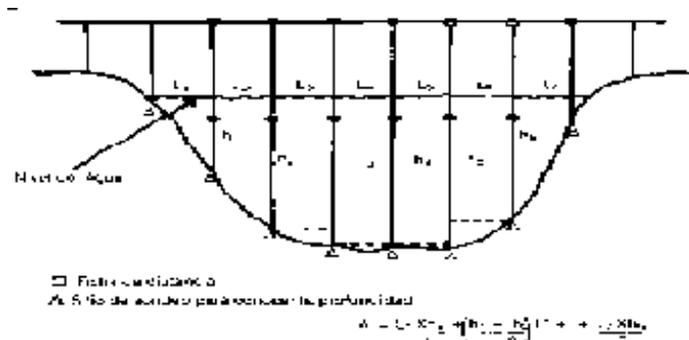


Figura 7. Secciones Geométricas Irregulares con su Área de Conducción.

Para determinar la velocidad del agua en este tipo de estructuras, es necesario realizar diferentes mediciones en su área seccional, para estimar la velocidad promedio del flujo, es difícil de conocerla, ya que la velocidad es modificada por la fricción del fluido con las paredes de la estructura.

En canales, la velocidad máxima se localiza inmediatamente por abajo de la superficie libre del agua, debido a que la tensión superficial y las paredes del conducto oponen resistencia al avance del fluido, los cambios de dirección de los conductos provocan una distribución de velocidades diferentes.

En tuberías, la velocidad máxima se localiza en el centro de la vena líquida y disminuye en ondas concéntricas, hasta minimizarse al entrar en contacto con las paredes del conducto, la velocidad promedio se localiza a los 3/8 del diámetro alrededor del centro de la tubería.

Debido al problema existente para determinar la velocidad media, ésta es necesario obtenerla a partir de la relación de velocidades mediante la introducción de un coeficiente de corrección, tanto en el canales como para tuberías; este coeficiente es una función de la velocidad media y la velocidad máxima, (V_{md} / V_{max}), tomando los valores de $C = 0.6-0.85$ canales; $c = 0.8$ tuberías.

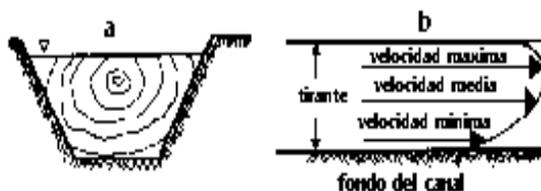


Figura 8. Distribución Típica de las Velocidades del Flujo en un Canal
a) Sección Transversal, b) Perfil.

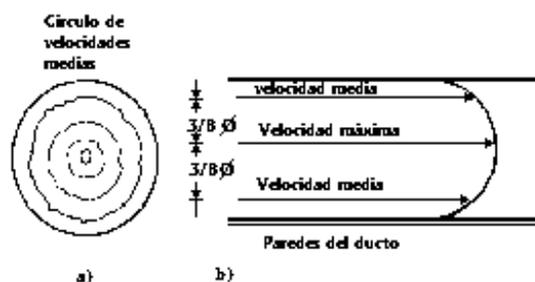


Figura 9. Distribución Típica de las Velocidades del Agua Dentro de una Tubería Recta y Uniforme Operando a Flujo Completo a) Sección Transversal b) Perfil.

Métodos para Estimar la Velocidad del Flujo

Para conocer la velocidad media con que circula el agua en un conducto, se pueden utilizar diferentes métodos, algunos de estos que permiten estimar aproximadamente la velocidad de agua son:

- **Fórmula de Manning.**
- **Método del Flotador.**
- **Método del Colorante.**
- **Método del Molinete.**
- **Método del Tubo Pitot.**
- **Método de las Coordenadas.**

Fórmula de Manning

La ecuación de Manning, es uno de los modelos más utilizados en el cálculo de la velocidad en canales, debido principalmente a su simplicidad y grado de precisión tanto en pequeñas como en grandes estructuras.

$$V = 1/n R_h^{2/3} S^{1/2}$$

$$R_h = \frac{A}{P}$$

Donde :

V = Velocidad del flujo m/seg.

Rh = Radio hidráulico

S = Pendiente %

A = Área m²

P = Perímetro Mojado m

n = Coeficiente de rugosidad

Los valores del coeficiente de rugosidad (n) propuestos por Linsy et. al. En año de 1980, para ser utilizados en la ecuación de Manning de acuerdo a las condiciones del canal se indican en el cuadro 3.

Para ejemplificar en forma objetiva este método, se determino la velocidad del agua en el canal de pruebas localizado en el jardín hidráulico de la Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro para lo cual fue necesario tomar la siguiente información.

Distancia Longitudinal	=	25 m
Base mayor	=	0.5126 m
Base menor	=	0.3750 m
Altura de agua	=	0.165 m
Coficiente de Rugosidad	=	0.013
Cota P ₁	=	1.160
Cota P ₂	=	1.185
Longitud del Talud	=	0.19 m
Q = A x V		

$$V = \left(\frac{1}{n}\right) Rh^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

$$Rh = \frac{A}{Pm}$$

$$A = \left(\frac{Bm + Bn}{2}\right) H$$

$$A = \left(\frac{0.5126 + 0.3949}{2}\right) (0.1650)$$

$$A = 0.0748 \text{ m}^2$$

$$Pm = 0.19 \text{ m} + 0.3949 \text{ m} + 0.19 \text{ m} = 0.7749$$

$$Rh = \frac{0.0748 \text{ m}^2}{0.7749 \text{ m}}$$

$$Rh = 0.0965$$

$$S = \left(\frac{\Delta h}{L}\right) \times 100$$

$$S = \left(\frac{0.025 \text{ m}}{25 \text{ m}}\right) \times 100$$

$$S = 0.1\%$$

$$V = \left(\frac{1}{n} \right) Rh^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

$$V = \left(\frac{1}{0.013} \right) (0.0965)^{\frac{2}{3}} (0.1)^{\frac{1}{2}}$$

$$V = 0.5543 \text{ m/seg}$$

$$Q = 0.0748 \text{ m}^2 \times 0.5543 \text{ m/seg}$$

$$Q = 41.46 \text{ Lps}$$

$$A = 0.0748 \text{ m}^2$$

$$Pm = 0.19 \text{ m} + 0.3949 \text{ m} + 0.19 \text{ m}$$

$$Pm = 0.7749 \text{ m}$$

$$Rh = 0.0965$$

$$S = 0.1\%$$

$$V = 0.5543 \text{ m/seg}$$

$$Q = 0.0748 \text{ m}^2 \times 0.5543 \text{ m/seg}$$

$$Q = 41.46 \text{ Lps}$$

Cuadro 3. Valores del Coeficiente de Rugosidad de Manning.

CONDICIONES DEL CANAL	Coefficiente Rugosidad (n)
Canales Revestidos	
Cemento bien acabado	0.010
Concreto ordinario	0.013
Mampostería de piedra	0.017
Tierra lisa	0.018
Grava firme	0.020
Canales Naturales	
Limpio, Recto, a nivel máximo, sin pozos	0.029
Igual que el anterior, pero con vegetación y piedras	0.035
Sinuoso, Limpio, con pozos y rápidos	0.039
Como el anterior a niveles bajos	0.047
Sinuoso, Pozos y rápidos, con vegetación y piedras	0.042
Como el anterior, a niveles bajos y con grandes rocas	0.052
Pantanosos, con vegetación y pozos profundos	0.065
Muy pantanosos y con mucha vegetación	0.111

Método del Flotador

Este método, es uno de los más rudimentarios, sin embargo, proporciona una estimación aproximada de la velocidad del flujo, es un método poco preciso pero muy utilizado, ya que da una idea rápida de la velocidad y del gasto que fluye a través de un conducto, sobre todo cuando no se cuenta con el tiempo ni con los medios adecuados para realizar una medición de mayor precisión; su principio se basa en medir el tiempo que tarda en desplazarse un flotador sobre la superficie del agua para recorrer una distancia preestablecida.

Para conocer la velocidad por este método, se selecciona un tramo de acequia o canal recto, con secciones transversales regularmente uniformes en toda su longitud. La longitud del tramo de prueba debe medir de 20 a 150 metros, dependiendo de la área seleccionada; este tramo de prueba se delimita con cordón en el sentido perpendicular a la dirección del flujo de agua, al inicio y final del lugar en el que realizará la medición.

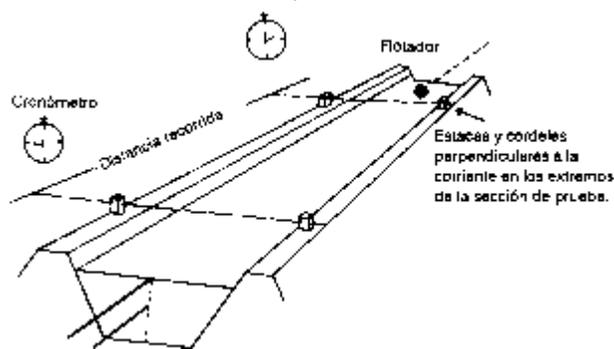


Figura 10. Medición de la Velocidad Superficial del Agua con un Flotador.

Es necesario realizar varias mediciones del tirante y ancho del canal, a través de la longitud de prueba, para poder estimar el área promedio, aproximada de la sección transversal. Los flotadores son improvisados pudiéndose utilizar un corcho, palo de madera, latas, cascara de limón, naranja o cualquier otro material que se caracteriza por flotar libremente sobre la superficie del agua, el flotador se coloca en el agua a una distancia de 2 a 5 metros, aguas arriba del punto inicial del tramo. Al pasar el flotador por este punto, se toma el tiempo, y posteriormente el tiempo que tarda en llegar al punto final, lo que corresponde a la distancia considerada. Es necesario llevar a cabo varias repeticiones, para obtener la velocidad promedio. Para determinar la velocidad se divide la distancia en la que realiza la medición entre el tiempo promedio, en el que el flotador recorrió dicha distancia, como se indica en la Figura 10.

La velocidad del flotador sobre la superficie del agua es más alta que la velocidad media por lo tanto, la velocidad observada debe ser multiplicada por un coeficiente de corrección para obtener la velocidad media, el coeficiente relaciona la velocidad media en función de la superficie, este varía entre 0.6 y 0.85, se utiliza el valor 0.6 para corrientes de poca velocidad, pendientes suaves y gastos pequeños, parte, y el valor de 0.85 cuando mayor es la turbulencia, la pendiente del conducto y gastos grandes. El error de los aforos es aproximadamente de un 10%, debido a las condiciones del canal, profundidad, etc., este error se minimiza con el factor de corrección. Finalmente el conocimiento del gasto se obtiene multiplicando la velocidad promedio calculada por el área transversal de la sección.

Una forma de ejemplificar el método del flotador, se realizó una prueba en el canal del jardín hidráulico del área experimental de Buenavista donde se obtuvo la siguiente información.

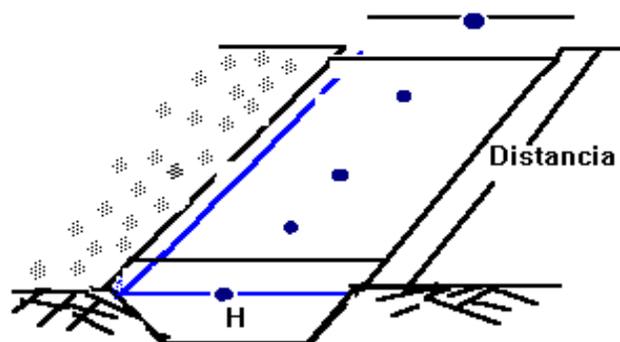


FIGURA 11. Características del Canal de Prueba.

Longitud	=	25 m
Base mayor	=	0.5126 m
Base menor	=	0.3750 m
Altura	=	0.165 m
Tiempo promedio	=	40.43 Seg

$$Q = A \times V$$

$$V = \frac{D}{T}$$

$$V = \frac{25 \text{ mts}}{40.43 \text{ seg}}$$

$$V = 0.6183 \text{ m/seg}$$

Factor de corrección $c = 0.85$

$$V_r = 0.6183 \text{ m/seg} \times 0.85$$

$$V_r = 0.5255 \text{ m/seg}$$

$$A = \left(\frac{B_m + B_n}{2} \right) H$$

$$A = \left(\frac{0.5126 + 0.3949}{2} \right) (0.1650)$$

$$A = 0.0748 \text{ m}^2$$

$$Q = 0.0748 \text{ m}^2 \times 0.5255 \text{ m/seg}$$

$$Q = 39.30 \text{ Lps}$$

Método del Colorante.

El uso de colorantes, se fundamenta en el mismo principio que el flotador, sin embargo, su diferencia en la práctica, consiste en inyectar una pequeña cantidad de sal o sustancia colorante al flujo, estos productos gracias al fenómeno de turbulencia, se disuelve rápidamente en la corriente, tomando las mismas características del flujo.

Una vez realizado este procedimiento, es necesario determinar el tiempo que tarda la sustancia en recorrer la distancia existente entre los puntos de referencia, el tiempo que se computa no es el que se hace cuando llega el frente coloreado al punto de referencia, sino el tiempo que hace en llegar la parte media, de acuerdo a lo anterior se toman los tiempos que tarda en llegar las ondas primera y última, procedimiento se repite varias veces en mismo procedimiento de tal forma que permita obtener el tiempo promedio, la velocidad así obtenida, se considera la velocidad media, por lo tanto, se aplica directamente sin necesidad de utilizar un coeficiente de corrección como el caso del flotador.

Los colorantes se utilizan con mayor frecuencia, ya que fácilmente se pueden observar a simple vista; dentro de ellos se tiene al permanganato de potasio y la fluorescina.

El uso de sales no es muy utilizado, debido a que se requiere de instrumentos especiales para detectar su presencia y concentración. Finalmente el gasto se conoce multiplicando su velocidad promedio por el área de la sección transversal promedio de la corriente.

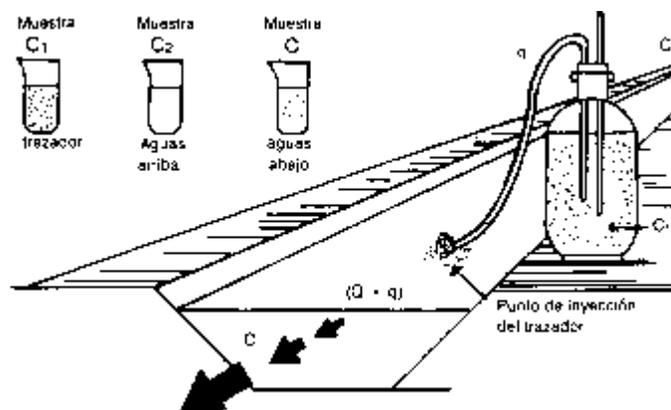


Figura 12. Aforo Químico de una Corriente y Toma de Muestras.

Continuando con el ejemplo anterior pero considerando ahora el permanganato de potasio como sustancia colorante, se realizó la prueba en el canal del jardín hidráulico del área experimental de Buenavista donde se obtuvo la siguiente información.

Longitud	=	25 m
Base mayor	=	0.5126 m
Base menor	=	0.3750 m
Altura	=	0.165 m
Tiempo promedio	=	44 seg

$$V = \frac{25 \text{ Mts}}{44 \text{ Seg}}$$

$$V = 0.5681 \text{ m/seg}$$

$$A = 0.0748 \text{ m}^2$$

$$Q = 0.5681 \text{ m/seg} \times 0.0748 \text{ m}^2$$

$$Q = 42.5 \text{ Lps}$$

Método del Molinete.

En este método, el equipo tiene como finalidad encontrar la rapidez con que circula el agua en un canal o acequia, su principio de funcionamiento se basa en transformar la velocidad del agua en una velocidad angular, para conocer lo anterior se utilizan los instrumentos conocidos como molinetes siendo los más comunes el Price y Hoff.

El tipo Price consta de rueda giratoria en forma de copas (fig. 13) y el Hoff, consiste de un impulsor con hélice, en ambos casos la velocidad de rotación es proporcional a la velocidad del agua en movimiento.

De acuerdo a la forma de fabricación, los equipos son clasificados en molinete de copas y molinete de hélice, ambos instrumentos al ser utilizados deben ser calibrados individualmente; ya que la variación en las lecturas depende de sus dimensiones y forma.

Molinete de Copas. Este tipo de molinete llamado también de eje vertical, consiste de un pequeño impulsor de seis copas de forma cónica sujetas por sus bordes inferiores que se localizan montado sobre un eje vertical. Cuando el aforador es sumergido en el agua, esta lo pone en movimiento ya que el eje de copas es impulsado por la misma iniciando así su giro, una vez efectuado este paso se procede a registrar el número de veces que gira en un tiempo determinado, para realizarlo se dispone de un cuenta revoluciones o registrador electrónico, este proporciona el número de vueltas realizadas por las copas en función del tiempo.

En aguas limpias y de baja velocidad las revoluciones pueden ser contabilizadas a simple vista, sin embargo, cuando la velocidad es muy alta, aguas turbias o en canales de tierra recién construidos, el molinete no puede ser observado a simple vista por lo que la determinación de las revoluciones se indican por un sonido o timbre emitido cada 5 o 10 vueltas producidas por el molinete, estos pueden ser fácilmente escuchadas por el operador.

Una vez conocidos el número de vueltas y el tiempo que tarda en efectuarlas, la velocidad se determina mediante una tabla de calibración proporcionada por el fabricante, o bien a través de la ecuación de calibración previamente proporcionada.

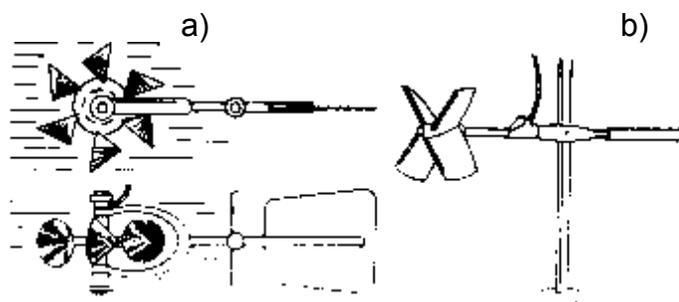


Figura 13. Tipos de Molinetes Usados para el Aforo de Acequias, Diques y Canales. a) Cazoletas, b) Hélice.

Molinete de Hélice. Este equipo es helicoidal y consiste de un pequeño impulsor de caucho, colocado sobre un eje horizontal y suspendido en el extremo superior por un cable instalado encima de su cuerpo lo que hace sea menos afectado por la turbulencia, este tipo se utiliza en un amplio tipo de estructuras, ya sea para aforar canales grandes y profundos o en ríos, las mediciones se realizan generalmente desde un puente que cruza dicho canal,

así mismo el molinete de tipo hélice, se ha utilizado también para medir la velocidad del agua al final de tuberías e incluso para descargas en plantas de bombeo.

Funcionamiento y Recomendación en el Uso del Molinete. Antes de utilizar en el campo estos equipos, deben ser probados y calibrados, para determinar con toda precisión la relación que existe entre la velocidad de rotación del impulsor y la velocidad del agua, ambos modelos se calibran introduciéndose en corrientes tranquilas, sin turbulencia cuya velocidad se conoce con seguridad comprobando las revoluciones que se tienen por minuto. Una vez obtenida esta información se elabora una serie de gráficas o tablas, que muestran la velocidad como una función del número de revoluciones para un intervalo de tiempo dado, para realizarlo se requiere de experiencia y amplios conocimientos técnicos.

Posteriormente se efectúa un procedimiento de regresión entre la velocidad y las revoluciones, para finalmente obtener la ecuación del molinete, en algunos casos la ecuación es proporcionada por el fabricante, por ejemplo:

Molinete	Modelo	Ecuación	Unidades
De copas	Gurley 622(L-2) S1W0.17	$V=0.690904 N+0.014694$ N= No. Revoluciones por seg.	M/S

Al utilizar el molinete, es necesario seleccionar un tramo de río, canal o acequia recta, con la sección transversal aproximadamente uniforme, la sección transversal de la corriente, se divide en áreas parciales con segmentos sobre el espejo del agua igualmente espaciados, de tal forma que las divisiones descomponen el área total de la sección en triángulos, trapecios y rectángulos.

En la mitad del segmento de cada área parcial, es medida la profundidad del agua, continuando a partir de ésta a 6/10 de dichas profundidades por abajo de la superficie del agua se coloca el molinete, una vez realizado lo anterior se registra el tiempo transcurrido para el número de revoluciones dado; con esta información se localiza la velocidad en la tabla del molinete o se sustituye el cociente del número de revoluciones entre el tiempo en segundos en la ecuación para obtener directamente la velocidad, así mismo se pueden calcular tantas velocidades como áreas se tengan. Determinadas las áreas y sus velocidades promedio correspondientes, éstas se multiplican entre sí, para obtener los gastos parciales que fluyen a través de la superficie.

Ventajas en el Uso del Molinete.

- No se obstruye el cauce.
- Se utiliza tanto en pequeños como en grandes canales.
- Se puede emplear para determinar la velocidad en tuberías.
- Alto grado de precisión.

Limitaciones en el Uso del Molinete.

- Se requiere la calibración del equipo.
- Los materiales en suspensión como ramas, hules y otros afectan la velocidad de rotación.
- Se requiere de personal capacitado para realizar la prueba.

Para observar la metodología de aforo con molinete, examinemos un ejemplo para mostrar la forma en que registran y se manejan los datos. La información para el cálculo de áreas, velocidades y gastos, se utilizó el molinete de copa (tipo Gurly 622) en un canal de tierra como se muestra en la figura 14.

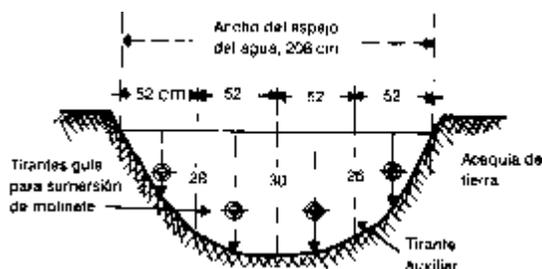


Figura 14. Sección Transversal de la Acequia en el Punto de Aforo.

La toma de datos por el molinete se realiza en los tirantes nones y a 6/10 de la profundidad.

$$A1 = \frac{Lxh1}{2} = \frac{h1 + h2L}{2} = \frac{18(26)}{2} + \frac{18 + 28(26)}{2} = 832 \text{ cm}^2$$

$$A2 = \frac{h2 + h3L}{2} + h3xL = \frac{28 + 30(26)}{2} + 30(26) = 1543 \text{ cm}^2$$

$$A3 = h4xL + \frac{h5 + h6L}{2} = 30(26) + \frac{30 + 26(26)}{2} = 1508 \text{ cm}^2$$

Cuadro 4. Registro de Datos para un Aforo con Molinete y Cálculo del Gasto.

Datos de Aforo				Cálculo del Gasto		
Segmento	Tirante	6/10d	rpm	A cm ²	V m/seg	Q lps
0 - 52	18	10.8	75.00	832	0.1011	8.41
52 - 104	30	18.0	17.20	1534	0.2124	32.58
104 - 156	30	18.0	16.70	1508	0.2076	31.30
156 - 208	22	13.2	12.25	910	0.1558	14.18
Gasto Aforado						86.47

$N = \text{Revoluciones/Segundo}$
 $V = 0.690904 N + 0.014694$
 $Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$
 $Q_t = 86.47 \text{ LPS}$

Método del Tubo Pitot

El tubo de impacto o pitot, es un pequeño tubo en forma de (L) con ambos extremos abiertos, el principio de funcionamiento, se basa en que si a un cuerpo hueco y redondo se sumerge a una corriente, la carga por velocidad, $(V^2/2g)$ en el tubo, se convierte en una carga estática. Esta situación se presenta cuando el tubo se sumerge al agua con el extremo inferior abierto de frente a la corriente y el otro extremo hacia la atmósfera. Cuando esto ocurre se puede observar que el agua se eleva por el tubo a una distancia por encima de la superficie del agua, por efecto de la carga por presión y la carga por velocidad.

Al invertir el extremo inferior del tubo, la columna de agua sufre una depresión, provocada por una diferencia de cargas, (carga de presión - carga por velocidad)

Si aplicamos el teorema de Bernoulli tenemos:

$$H_1 = H_2 + h_f$$

$$h_f \approx 0$$

$$H_1 = h_1 + \frac{V_1^2}{2g}$$

$$H_2 = h_2 + 0$$

Igualando:

$$H_1 = H_2$$

$$h_1 + \frac{V_1^2}{2g} = h_2 + 0$$

$$h_1 - h_2 = \frac{V_1^2}{2g} \qquad h = \frac{V_1^2}{2g}$$

$$V_1^2 = 2gh \qquad V_1 = \sqrt{2gh}$$

El uso del tubo pitot está limitado en la medición del flujo de agua en tuberías ya que las velocidades en canales abiertos son relativamente bajas, haciendo su determinación poco precisa, cuando se utilizan estos equipos para aforar tuberías, es necesario realizar varias lecturas en su área transversal, para calcular el promedio ponderado de las velocidades, ya que la distribución de velocidades no es uniforme en toda la venta líquida. Por otra parte, desde el punto de vista practico, es posible obtener un valor mas preciso de la velocidad con dos mediciones realizadas a $\frac{1}{4}$ del diámetro del tubo por encima y por abajo del centro de la tubería. (Figuras 15).

Cuando se afora un canal abiertos, el orificio de entrada en el tubo se debe colocar a diferentes profundidades, para determinar el promedio de la velocidad, la cual es una función del tirante del canal, tomando en cuenta lo anterior, la velocidad media es calculada como una función de la longitud del tirante, quedando indicada por:

$$V = (0.2d) \quad d = 15 \text{ cm}$$

$$V = \frac{V(0.2) + V(0.8)}{2} \quad d = 45 \text{ cm}$$

Para Cauces muy Irregulares

$$V = \frac{V(0.2d) + V(0.6d) + V(0.8d)}{3}$$

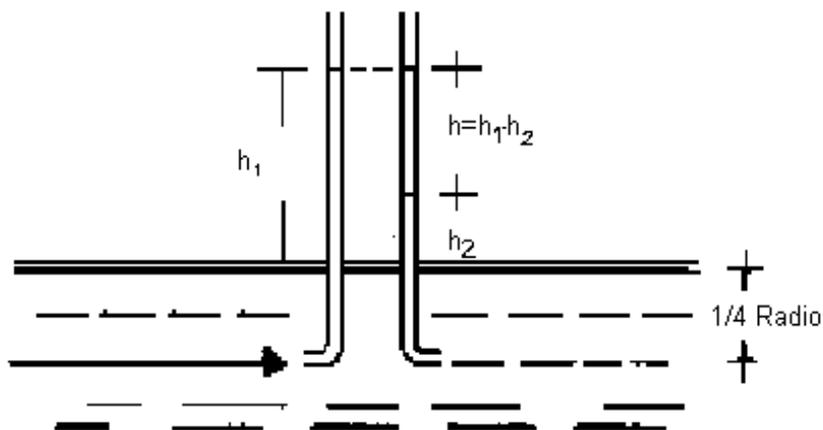


Figura 15. Instalación de los Tubos Pitot a $\frac{1}{4}$ de Radio de la Tubería para Medir la Velocidad Promedio del Flujo.

$h = h_1 + h_2$

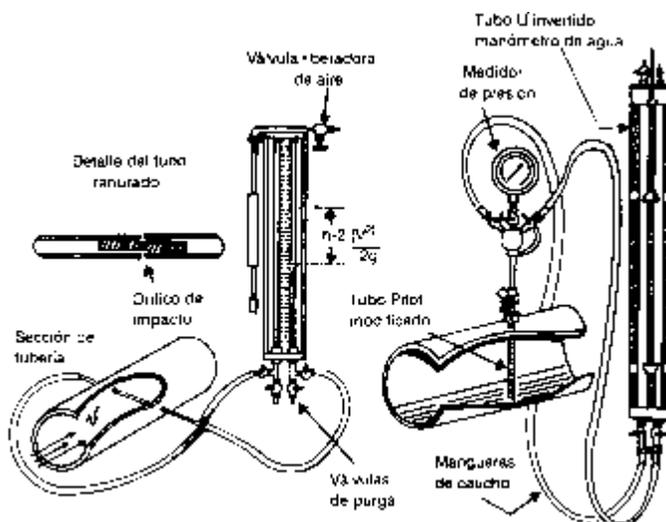


Figura 16. Tipos de tubos Pitot: el Medidor Collins (Izquierda), Usado para Medir la Descarga en Plantas de Bombeo, y el Medidor Cox (Derecha), que Permite una Lectura de Velocidad con una Simple Medición.

Método de las Coordenadas

Uno de los métodos que se emplean para medir el flujo de agua en pozos de bombeo que descargan en forma horizontalmente, inclinada o vertical, es el de la trayectoria o coordenadas, este método consiste en medir la proyección del chorro de agua que se proyecta en el extremo de la descarga de un tubo definiendo sus trayectorias. Lo anterior, se basa en que la velocidad con que se conduce el agua en tuberías es por lo general alta, debido a que es conducida a presión, por lo tanto, de acuerdo a esto es necesario conocer el tipo de flujo que es conducido o descargado por el conducto, el método de la trayectoria se utiliza principalmente para determinar el flujo en tuberías únicamente cuando estas se encuentran a descarga libremente.

Su principio de funcionamiento, se basa esencialmente en la caída libre de los cuerpos, es decir, el agua al ser descargada por la tubería tiende a conservar su trayectoria original; sin embargo, al momento de salir al exterior es afectada por la acción de la gravedad, lo que ocasiona que siga una trayectoria parabólica, como resultado de la pérdida gradual de la velocidad y la fuerza gravitacional.

Al aplicar este método, la velocidad del agua se determina a partir de dos mediciones simultáneas (X, Y) que caracterizan sus proyecciones, una de ellas proyecta la trayectoria a lo largo del eje de la tubería (x) del caudal descargado de acuerdo a la posición de la tubería, y la proyección vertical (y) que se mide antes de la caída prolongada del chorro, a estas distancias horizontales y verticales se denomina coordenadas "X" y "Y".

Para mayor facilidad estas coordenadas se miden desde la cúspide interior del tubo hasta un punto situado en la parte superior de la caída del chorro, este método es de exactitud limitada debido a la dificultad para llevar a cabo mediciones precisas de las proyecciones del chorro, en consecuencia, debe emplearse cuando se desea tener una idea aproximada del gasto o cuando no se dispone de otros medios más exactos de medición. Para lograr resultados razonablemente exactos, el tubo de descarga debe estar a nivel y tener una longitud suficiente para que el flujo sea uniforme al salir.

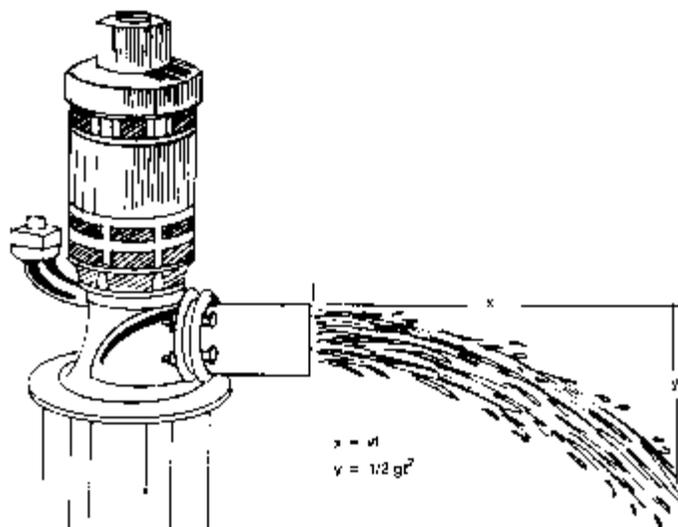


Figura 17. Método de la Trayectoria Aplicado en el Aforo de Bombas con Tubo a Descarga Libre.

Las Proyecciones X é Y deben ser medidas como lo muestra la figura (17).

$$V = \frac{X}{t} \therefore t = \frac{X}{V}$$

Donde:

X = Distancia horizontal

V = Velocidad del agua en el eje horizontal

t = Tiempo

$$g = \frac{2Y}{t^2} \therefore t^2 = \frac{2y}{g}$$

Donde:

y = Distancia vertical

g = Aceleración de la gravedad

Si se igualan las ecuaciones en función del tiempo y se despeja la velocidad se tiene:

$$t = t^2$$

$$v^2 = \frac{x^2 g}{2y} \therefore Y = x \frac{g}{2}$$

$$Q = AXV$$

$$t^2 = \frac{x^2}{v^2} \therefore \frac{x^2}{v^2} = \frac{2y}{g}$$

$$Q = (0.785)(d)^2 (X) \left(\frac{g}{2y} \right)^{1/2}$$

Para obtener las variables (X, Y) que son utilizados en la ecuación, se emplea una escuadra graduada en sus dos proyecciones, esta tiene en el eje vertical "Y" una medida constante, y en el eje horizontal "X" de mayor dimensión para que pueda ajustarse a la características de proyección del chorro. El modelo anterior para el cálculo del gasto, se aplica solamente para tuberías de descarga completa, por lo tanto, en tuberías de descarga parcial debe ajustarse por un coeficiente que relacione la diferencia del diámetro total y el diámetro faltante, con el diámetro total como se indica en la siguiente ecuación.

$$F_c = \frac{D - D^1}{D}$$

Donde:

F_c = Factor de Corrección.

D = Diámetro Total.

D¹ = Diámetro Faltante.

Para observar el procedimiento que se sigue para determinar tanto la velocidad del agua como el gasto en tuberías de descarga libre, se realizó una prueba en la estación de bombeo del jardín hidráulico en Buena Vista Coahila donde se obtuvo la siguiente información.

Cuadro 5. Datos de Campo para Determinar su Gasto por el Metodo de las Coordenadas.

Primera Opción	Segunda Opción
Tubería llena	Tubería parcialmente llena
Y = 40 cm	Y = 43 cm
X = 45 cm	X = 43 cm
D = 11 cm	D = 11 cm
Q = A x V	D' = 5.0 cm
Q = A x V (Z/D)	Q = (0.785)(d) (x) (g/2y)
Q = (0.785)(d) (x) (g/2y) (z/d)	Q = (0.785)(0.11)(0.43)(9.81/2(0.34))
Q = (0.785)(0.11)(0.45)(9.81/2(0.40))	Q = 0.01551 m/sx (0.05/0.11)
Q = 0.01491 m/s	Q = 7.05 Lps
Q = 14.91 Lps	

Tubería de Descarga Vertical

Cuando la tubería descarga verticalmente, la elevación del chorro se debe principalmente a la carga por velocidad, esta es determinada utilizando el teorema de Bernoulli, tomando como puntos de análisis la salida del tubo y el punto más alto que alcanza ha proyectar el chorro.

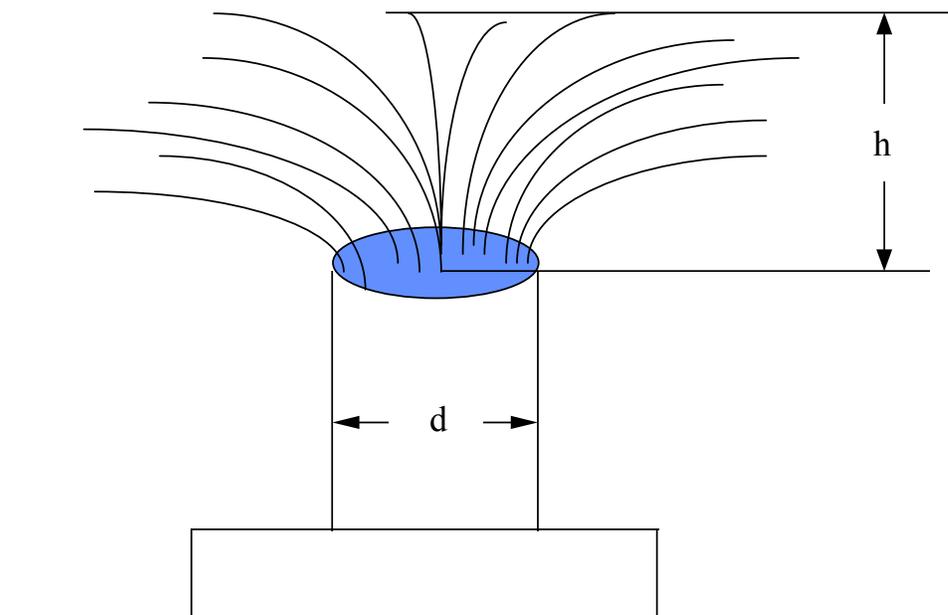


Figura 18. Tubería de Descarga de Vertical

$$\frac{P_1}{w} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{w} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$$

$$0 + \frac{V_1^2}{2g} + 0 = 0 + 0 + h$$

$$\frac{V_1^2}{2g} = h$$

$$V = \sqrt{2gh}$$

$$Q = (0.785)(d)^2 \sqrt{2gh}$$

MÉTODOS QUE EMPLEAN CONTRACCIONES EN EL CONDUCTO

En la actualidad existen diversos metodos que emplean una contracción, reducción o estrechamiento en el área normal del flujo, debido a esta característica hace que sean los equipos mas utilizados en la medición del agua para riego, ya que requieren de una o dos mediciones para determinar su gasto si las dimensiones de la contracción son conocidas, eliminando así la necesidad de cálculos repetidos.

Al momento de pasar el agua a través del área de la sección contraída, se incrementa la velocidad, pero disminuye la presión, de acuerdo con el teorema de Bernoulli, cierta parte de la energía potencial del flujo se transforma en energía cinética, presentándose por lo tanto, una pérdida de carga potencial, esta pérdida se debe al incremento de la velocidad del agua al pasar por la sección contraído.

Los aforadores que trabajan comúnmente bajo este principio y que han sido usados, tanto para canales como para tuberías, se tienen los siguientes: Vertedores, Orificios, Canaletas Parshall, Venturi

Vertedores.

Un vertedor, es considerado como uno de los dispositivos hidráulicos de aforo más antiguo y de uso común, por lo regular es construido en placas o laminas de acero con aperturas de dimensiones conocidas, a través del cual fluye el agua, estos equipos han sido estudiados por varios investigadores al ser utilizados como aforadores en causes libres y aliviadores para eliminar excedentes de agua. Al acercarse el agua a la cresta, el movimiento laminar se transforma en turbulento que al incrementar la velocidad, se produce un descenso en el nivel, este valor es solo de 0.003 h, para una distancia horizontal de la cresta igual a 4h.

Existe una gran variedad de vertedores para ser utilizados en las áreas de riego, en forma general se clasifican principalmente en vertedores de cresta aguda (pared delgada), que son usados normalmente para el aforo del agua de riego y vertedores de cresta ancha (pared gruesa), que se utilizan en estructuras hidráulicas de diversos tipos.

Una característica mas específica de identificarlos, es de acuerdo a la forma de la escotadura, longitud de cresta, que se considera al borde superior por donde él liquido escurre y a la forma de trabajar ya sea con o sin contracciones, así mismo, estos equipos son fáciles de instalar, construir, son confiables y baratos, sin embargo, requieren de una caída libre de la descarga. El vertedor que se elija de ser él mas adecuado a las circunstancias y condiciones del sitio donde se realizara la medición, es decir puede calcularse de antemano en forma aproximada el tipo y las medidas que sean las adecuadas: con base a lo anterior éstos se dividen:

- **Vertedor Rectangular**
- **Vertedor Triangular**
- **Vertedor Trapezoidal**

Vertedor Rectangular. Los vertedores de este tipo, la cresta y los lados deben ser rectos y lo suficientemente afilados para asegurar el efecto de la pared, biselados de los lados aguas abajo y de un grosor máximo de 30 mm. Este tipo de estructuras se divide básicamente en vertedores sin contracción y con contracción; El vertedor con contracciones fue una de las primeras estructuras usadas, su nombre se debe principalmente a la forma de la escotadura a través de la cual fluye el agua y es a la vez uno de los más comunes por su simplicidad y exactitud.

El principio en el conocimiento del gasto se basa en que tanto la velocidad como el área del flujo que pasa sobre la cresta (L) varía proporcionalmente a la carga(h), por lo tanto:

$$dQ = dA.V = Ldh V$$

$$dQ = Ldh \sqrt{2gh} = L\sqrt{2g} h^{1/2}dh$$

$$Qt = L \int \sqrt{2g} h^{1/2} dh = L \sqrt{2g} \frac{2}{3} h^{3/2} + C$$

$$Qt = 2.953 Lh^{3/2} \text{m}^3/\text{seg.}$$



Figura 19. Vertedor Rectangular de Cresta Aguda con Contracciones Laterales.

La ecuación anterior representa el gasto teórico (Q_t) del vertedor asumiendo que las pérdidas de carga por fricción y contracción vertical del chorro al pasar por la escotadura son despreciables. Francis tratando de ajustar la ecuación introduce un factor de corrección (C) a la ecuación obtenida de gasto teórico, este factor relaciona el gasto y el gasto estimado (Q/Q_e) proporcionando un valor equivalente a $C = 0.6226$.

Sin embargo, esta ecuación de gasto teórico no considera la pérdida de carga, ocasionada por la contracción, y la velocidad de llegada, por lo tanto es más recomendable usar la ecuación Cone, esta indica que el gasto teórico es igual a $Q_t = 1.884 Lh^{3/2}$, los coeficientes de la ecuación son empíricos, por lo tanto deben tomarse con ciertas limitaciones como; el conocimiento del gasto está sujeto a condiciones de carga de 5 a 46 cm de espesor del agua y la longitud de crestas deben estar entre 30 y 120 cm.

Vertedor Triangular. Este vertedor, es otra de las formas de escotadura en (V) más comúnmente usadas, debido a su abertura estos se clasifican en vertedores triangulares de 45° , 60° y 90° grados, una de sus características es que se tienen cargas muy grandes fáciles de medir, en corrientes relativamente reducidas, provocando una notable elevación del agua en el cause. El vertedor de 90° presenta un mayor rango de capacidad, sin embargo, requiere de una gran pérdida de carga, este aforador es muy utilizado en la medición de flujos que no exceden de 110 LPS, ya que es relativamente exacto al aforar flujos pequeños, su gasto teórico está dado por la ecuación de:

$$Q_t = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} H^{5/2}$$

El coeficiente de descarga (c) para este tipo de vertedores es igual a 0.6 por lo que su ecuación de gasto queda definida por:

$$Q_t = 1.42 h^{2.5}$$

En diversos experimentos se ha demostrado que el coeficiente y el exponente de la ecuación anterior no son exactos, sino que varían ligeramente, dado lo anterior la ecuación más utilizada para este tipo de vertedores es:

$$Q = 1.34 h^{2.48} \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Donde :

$$Q = \text{Gasto. m}^3 / \text{seg.}$$

$$H = \text{altura. m}$$

Cuando el gasto pasa por un vertedores de 60° el gasto generalmente es pequeño, por lo tanto, este se calcula por la siguiente ecuación:

$$Q = 0.883 h^{2.48}$$

Donde:

$$Q = \text{Gasto. m}^3 / \text{seg.}$$

Finalmente el gasto que pasa por un vertedor de 45° es calculado por la ecuación:

$$Q = 0.55 h^{2.47}$$

Donde:

$$Q = \text{Gasto. m}^3 / \text{seg.}$$

$$h = \text{altura. m}$$

Para observar la medición del agua utilizando el vertedor triangular, se realizo un aforo en el canal principal que abastece al área de riego del bajío en el campo experimental de Buena vista donde se obtuvo la siguiente información:

Vertedor Triangular de 90°
Carga de Agua h = 24 cm

Ecuación de Descarga $Q = 1.34 H^{2.48}$
 $Q = 1.34 (0.24)^{2.48}$
 $Q = 38.90 \text{ Lps.}$



Figura 20. Vertedor Triangular

Vertedor Trapezoidal.

Los vertedores trapezoidales están constituidos por una sección rectangular y una triangular. El equipo más utilizado es el desarrollado por el ingeniero Cipolletti con contracciones, el cual buscando que para una carga constante (h) el gasto, sea una función directa de las dimensiones de la cresta, por lo que no hay que corregir la contracción final.

Este tipo presenta taludes de las paredes que definen la escotadura, teniendo una inclinación de un horizontal a cuatro vertical ($\text{tg } 1/4$), y el exponente utilizado es de $3/2$.

El coeficiente de descarga para los vertedores trapeziales varía de acuerdo a su forma, la velocidad de acercamiento y con la carga; su ecuación depende principalmente de la inclinación de los taludes o la pared del vertedor, así, el gasto que pasa a través de un vertedor trapezoidal, se conoce sumando las cantidades de las secciones rectangulares y triangular del vertedor, como se indica en el siguiente modelo:

$$Qt = 2/3 \sqrt{2g} L h^{3/2} + 8/15 \sqrt{2g} \text{tg } h^{5/2}$$



Figura 21 Vertedor Trapezoidal con Vista Frontal.

Para el vertedor del tipo Cipolletti con una $\text{tg } \theta \frac{1}{4}$, su gasto aproximado se conoce por la ecuación:

$$Q = 1.859 Lh^{2/3}$$

Donde :

Q = Gasto Lps

L = Longitud de cresta (cm)

h = Carga hidráulica en cm.

Ventajas del Uso de Vertedores.

- Bien conservado e instalado es uno de los métodos más sencillos y exactos que existen.
- Equipos de bajo costo.
- Alto grado de precisión

Limitaciones del Uso de Vetedores

- Debe ser insertado en el bordo de las acequias
- En algunas ocasiones los vertedores se socavan

Reglas de Instalación para Vertedores

En el manejo del agua para riego, los vertedores centroides, son los equipos más comúnmente utilizados, sin embargo, bajo condiciones de campo, al aplicar sus modelos la exactitud esperada varía en un rango de 5 a 15% en la medición de gasto, por lo tanto, deben tomarse en cuenta las siguientes consideraciones.

1. Instale el vertedor en ángulo recto a la dirección del flujo.
2. El canal a aforar debe ser lo más uniforme posible, de preferencia recto aguas arriba y teniendo por lo menos 10 veces la longitud de cresta del vertedor.
3. Asegure que la pared del vertedor sea perpendicular a la dirección del flujo, la cresta recta y a nivel para que se establezca un espesor uniforme.
4. Evite en lo posible condiciones anormales y obstrucciones aguas arriba del vertedor, es necesario remover la basura o partículas de suelo acumulados.
5. La velocidad del agua al llegar al vertedor no debe exceder de 0.15 m / s.
6. El agua debe caer libremente al paso por la escotadura
7. La altura de la cresta del vertedor por encima del fondo del canal aguas arriba, debe ser menos dos o preferentemente tres veces la profundidad (o carga) del agua, que fluye sobre la cresta.
8. La medición de la carga de agua, debe realizarse aguas arriba del vertedor a una distancia mínima de 6 veces la carga máxima,
9. Procure que la carga de agua sea mayor de 5 cm. pero menor de 60 cm.
10. La cresta del vertedor rectangular debe ser por lo menos tres veces la carga ($L = \min = 3h$)
11. Usar de preferencia vertedores sin contracciones laterales o triangulares, con escotadura de 90°.

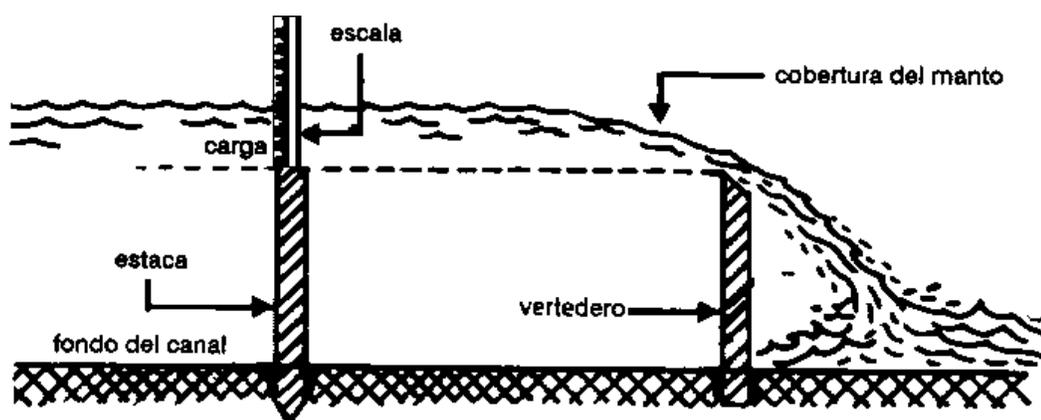


Figura 22. Medición de la Carga Sobre un Vertedor.

Carga del Vertedor. La medición debe realizarse en un punto localizado aguas arriba del vertedor, es decir donde la curvatura descendiente de la superficie del caudal, no la afecte. El punto de medición se señala mediante una estaca, colocando su cabeza a nivel, con la cresta del vertedor.

El espesor de agua o carga hidráulica (h) que pasa sobre la cresta del vertedor, es medida en dicho punto con una regla instalada verticalmente, sobre la cabeza de la estaca, posteriormente se visualizando la altura hasta donde llega la superficie del agua.

En la red de distribución del agua de riego utilizada para abastecer el área agrícola localizada en el bajío de la UAAAN, se instalaron vertedores trapecial, triangular de 90ª y un rectangular con la finalidad de determinar el gasto en cada una de las estructuras y sus eficiencias, para lo cual se obtuvo la siguiente información.

Cuadro 6. Datos de Campo Obtenidos Para Diferentes tipos de Vertedor.

Vertedor Trapecial	Vertedor Triangular	Vertedor Rectangular
L = 43.3 cm H = 7.2 cm	H = 14.5 cm	L = 40.8 cm H = 4.0 cm

Cuadro 7. Calculo de Gastos para Cada Vertedor.

Vertedor Trapecial	Vertedor Triang.	Vertedor Rectangular
$Q = 1.859 L H^{(3/2)}$	$Q = 1.34 H^{2.48}$	$Q = 2.953 L H^{(3/2)}$
$Q = 1.859(0.433)(0.072)^{(3/2)}$	$Q = 1.34(0.145)^{2.48}$	$Q = 2.953(0.408)(0.04)^{(3/2)}$
Q = 15.55Lps	Q = 11.15Lps	Q = 9.638Lps

Calculo de las eficiencias por sección para cada vertedor.

$$Ec = \frac{Qd}{Qe} \times 100$$

Donde:

Qd = Gasto Derivado

Qe = Gasto entregado

$$Ec = 11.15/15.55 \times 100 = 71.7 \%$$

$$Ec = 9.638/11.15 \times 100 = 86.43 \%$$

Orificios

Los orificios en su presentación más sencilla, son aquellos que tienen una abertura regular de forma circular o rectangular, con aristas agudas, estos

equipos son fabricados en láminas o placas de metal de pared delgada o gruesa. En los orificios de pared delgada, el espesor de la pared, debe ser menor que la mitad de la dimensión del orificio, este grosor debe tener entre 4 y 6 cm, no obstante el espesor de dicha pared puede ser mayor y conservar el carácter de orificio de pared delgada cuando sus bordes están biselados de tal forma que se evita el contacto del agua con las paredes, por lo tanto, se considera como un orificio de pared gruesa cuando no cumple estas condiciones.

Los orificios al igual que los vertedores, son colocados en sentido perpendicular al flujo de agua y se utilizan tanto en canales como en tuberías basándose la forma en que trabajan y al espesor de sus paredes se clasifican en:

- **Orificios de Descarga Libre.**
- **Orificios Ahogados.**
- **Orificios Parcialmente Ahogados.**

Orificios de Descarga Libre. Se consideran orificios de descarga libre a todos aquellos que cuando están trabajando bajo condiciones de flujo, permiten que el agua al pasar a través del orificio se descarga totalmente el aire, no encontrando ningún tipo de resistencia al líquido vertido, es decir el nivel del orificio es superior al de las aguas abajo como se muestra en la Figura. 23

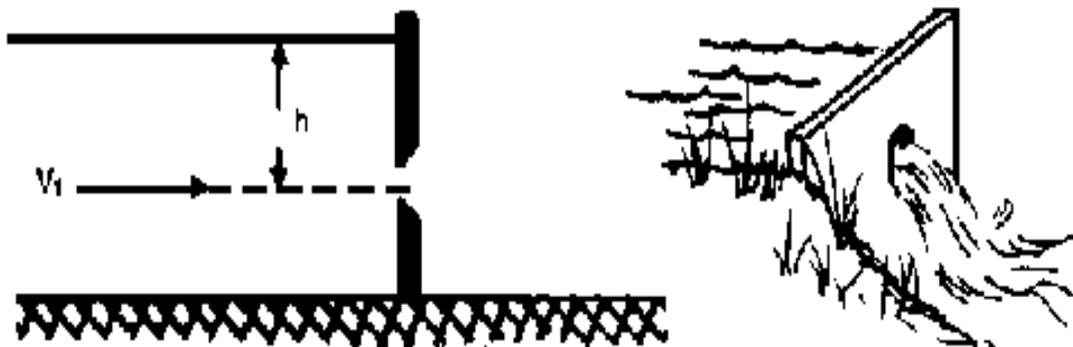


Figura 23. Orificio de Descarga Libre.

Orificios Ahogados. Se considera a este tipo de orificios, cuando la descarga de agua al pasar por el orificio no sale libremente al aire, esto ocurre cuando el nivel del aguas abajo es superior al borde inferior del orificio, por lo tanto se encuentra por encima del orificio, como se muestra en la Figura. 24

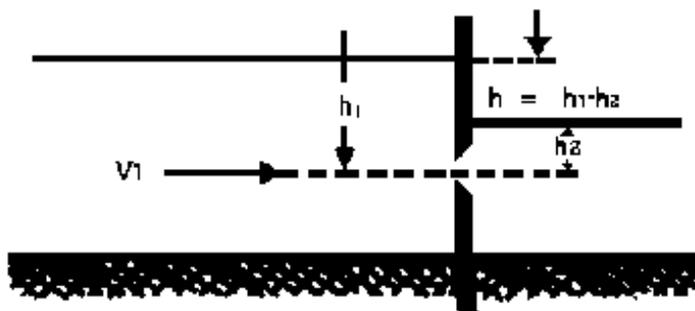


Figura 24. Orificio Ahogado

Orificios Parcialmente Ahogados. En estos orificios la descarga se puede considerar como una combinación de los orificios de descarga libre y ahogados; ya que el flujo al pasar por el orificio no está totalmente ahogado, sino solamente en parte debido a que el nivel del líquido aguas abajo se encuentra entre los límites superior e inferior, como se indica en la Figura 25

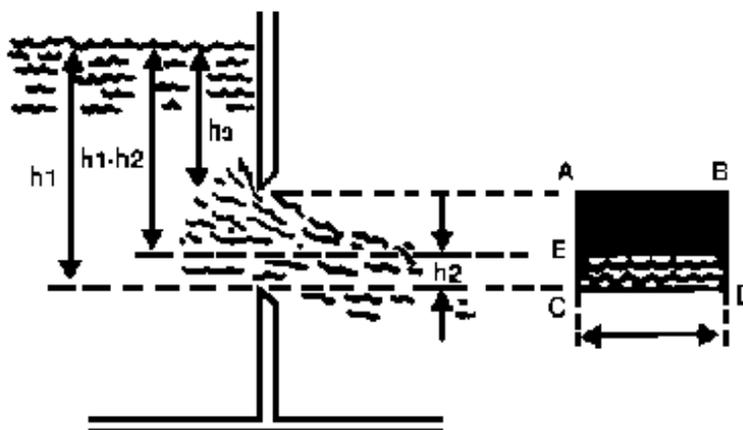


Figura 25. Orificio Parcialmente Ahogado.

Para conocer la velocidad del agua en orificios, es necesario analizar el teorema de energía propuesto por Bernolli, para lo cual se considera indispensable la vena líquida del fluido y el centro del orificio por lo tanto se tiene que:

$$\frac{P_1}{w} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{w} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + hf \qquad 0 + 0 + h = 0 + \frac{V_2^2}{2g} + 0 + hf$$

$$h - hf = \frac{V_2^2}{2g}$$

$$V = \sqrt{2g(h - hf)}$$

La ecuación anterior permite estimar la velocidad real del flujo, sin embargo, en la práctica es muy difícil determinar las pérdidas de carga por fricción, en base a esto es más fácil el uso del coeficiente por velocidad, la ecuación de gasto teórico en orificios se reduce aun mas, si se incluye un coeficiente de contracción, dado que el área transversal (a) del chorro es más pequeña que el área transversal (A) del orificio, por lo tanto se tiene que:

$$V_{real} = \sqrt{2g(h - hf)}; \quad V_t = \sqrt{2gh}; \quad C_v = \frac{V_{real}}{V_t}$$

$$V_{real} = C_v \sqrt{2gh}$$

El coeficiente por contracción es igual a:

$$C_c = a/A$$

$$a = A C_c$$

$$Q_t = Av$$

$$Q_t = A \sqrt{2gh}$$

Finalmente la ecuación de gasto real sera:

$$Q_R = Q_t C_c C_v$$

$$Q_R = A C_c C_v \sqrt{2gh}$$

$$Q_R = AC \sqrt{2gh}$$

$$Q_R = 0.61A \sqrt{2gh}$$

Donde:

C_c = Coeficiente de contracción (0.63)

C_v = Coeficiente de velocidad (0.97)

C = Coeficiente de descarga (0.63 X 0.97) = 0.61

A = Area transversal del orificio

h = Carga hidrostática sobre el centro del orificio

La carga en los orificios puede variar de 3 a 25 cm, y su diámetro es de 15 a 45 cm, con una capacidad para descargar de 3.5 hasta 248 LPS respectivamente. Finalmente las ecuaciones para orificios ahogados y parcialmente ahogados son:

$$Q_R = 0.61 A \sqrt{2g(h_1 - h_2)}$$

$$Q_R = 2/3 CA \sqrt{2gh}$$

Ventajas que se tiene con el uso de Orificios.

- Perdida de carga relativamente pequeña.
- Equipos muy sencillos de fabricación.
- Alta precisión en el conocimiento del gasto.

Limitaciones en el uso de Orificios.

- Los sedimentos o arenas aguas arriba causan errores en las mediciones, ya que altera la contracción.
- Los orificios se obstruyen fácilmente con ramas, hojarascas y materiales análogos cuando los arrastra la corriente.

Aforador Parshall.

Para resolver el problema que se tiene en el aforo de pequeños conductos, Parshall ideó este equipo el cual tolera un alto grado de sumersión y se utiliza cuando no se tienen pérdidas de carga considerables, poca o suave pendiente y limpieza frecuente aguas arriba.

Estas características logran mantener la contracción completa en el fondo, logrando obtener mediciones razonablemente exactas aún bajo condiciones de sumergencia parcial, así mismo el equipo tiene un amplio campo de aplicación ya que puede medir corrientes desde 3 hasta 60,000 lts/seg

El aforador Parshall está constituido de una sección convergente (entrada), otra sección divergente (salida) separadas y por una sección de garganta, el ancho de la garganta es fundamental ya que de ella depende el gasto que puede pasar.

La teoría completa del aforador Parshall, es todavía desconocida; sin embargo, las dimensiones de la garganta varían desde cinco centímetros hasta varios metros de anchura, por lo tanto, estas estructuras son calibradas para desarrollar fórmulas y tablas para su uso. (Fig. 26).



Figura 26 Aforador Parshall

La Sección de entrada la constituyen dos paredes verticales simétricas y convergentes, con fondo horizontal; la sección de garganta la forma dos paredes verticales pero paralelas con el fondo de esta sección inclinado hacia aguas abajo, dando una pendiente o desnivel de tres vertical a ocho horizontal, la sección de salida está formada por dos paredes verticales divergentes y el fondo inclinado hacia arriba.

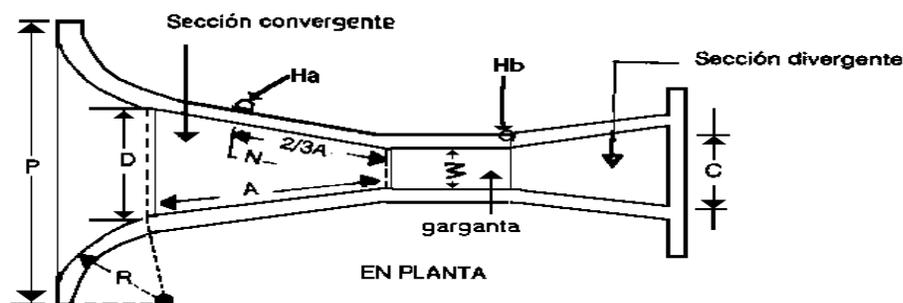


Figura 27. Canaleta de Medición Parshall en Planta.

El procedimiento para la medición del gasto bajo condiciones de flujo libre, es similar al utilizado en vertedores, este método se basa en la pérdida de carga o altura de la superficie del agua sobre el piso que se produce a su paso por la garganta, así mismo el paso del agua a través del aforador puede producirse de dos formas distintas, estas son:

- Sin sumersión (libre flujo).
- Con sumersión (cuando la elevación de la superficie del liquido aguas abajo es tal que frena su descarga).

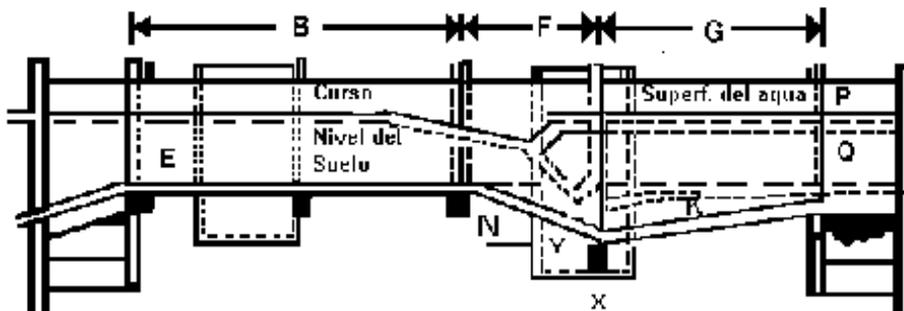


Figura 28. Canaleta de Medición Parshall en Elevación con sus Dimensiones

Se conoce como grado de sumersión a la relación de cargas hidráulicas ocurridas en las secciones de entrada y garganta del aforador; para conocer estas cargas, es necesario contar con dos escalas graduadas instaladas en las secciones mencionadas, por lo tanto el grado de la sumersión será (hb/ha) .

Se dice que un aforador Parshall trabaja sin sumersión, cuando la relación de cargas hidráulica (hb/ha) es menor que el factor de 0.65 a la vez cuando dicho factor es mayor de 0.65 se asume que el aforador trabaja con sumersión. Una vez determinado el grado de sumersión, la carga (ha) obtenida se relaciona directamente a un nomograma específico para cada tipo, este permite conocer el gasto en una forma sencilla, cada aforador presenta su propio nomograma que varía de acuerdo a sus dimensiones.

El uso del aforador Parshall presenta algunas ventajas importantes como son:

- El operar con poca pérdida de carga.
- No se ve afectado por la velocidad del agua.
- No se presenta la acumulación de sedimentos o cuerpos flotantes.

Medidor Venturi

El Venturi está constituido de una sección tubular de acercamiento gradualmente convergente, una sección circular de menor diámetro y una sección tubular y divergente hacia el diámetro normal de la tubería, como se muestra en la figura 29. La transición gradual elimina la contracción y el ensanchamiento permite la recuperación casi completa de la pérdida de carga potencial que se tiene en la estructura. El funcionamiento del Venturi, se basa principalmente en que el flujo de agua a su paso a través de una sección contraída aumenta su velocidad y disminuye su presión, ocasionando con esto

el principio de continuidad, este principio establece una conservación de gasto en ambas secciones.

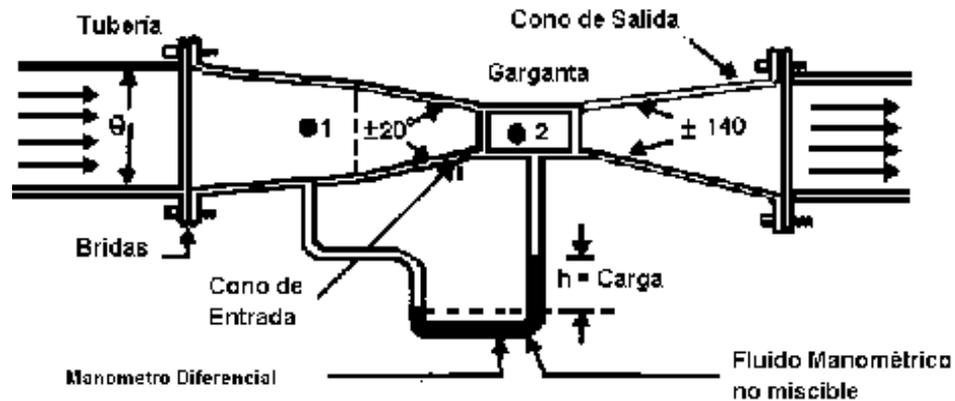


Figura 29. Medidor Venturi Utilizado para la Medición del Gasto en Tuberías.

Basándose en el principio de continuidad, tenemos que:

$$Q_A = Q_B$$

$$Q = A \times V$$

$$K = S_a \sqrt{\frac{2g}{\left(\frac{d_a}{d_b}\right)^4 - 1}}$$

$$S_a = \frac{\pi d_a^2}{4}$$

$$A_A V_A = V_B A_B$$

$$Q = K \sqrt{12.6 h}$$

Donde:

K = Constante

d_a = Diámetro de entrada

d_b = Diámetro de garganta

S_a = Área de la contracción

h = Carga en Columna de Mercurio en m.

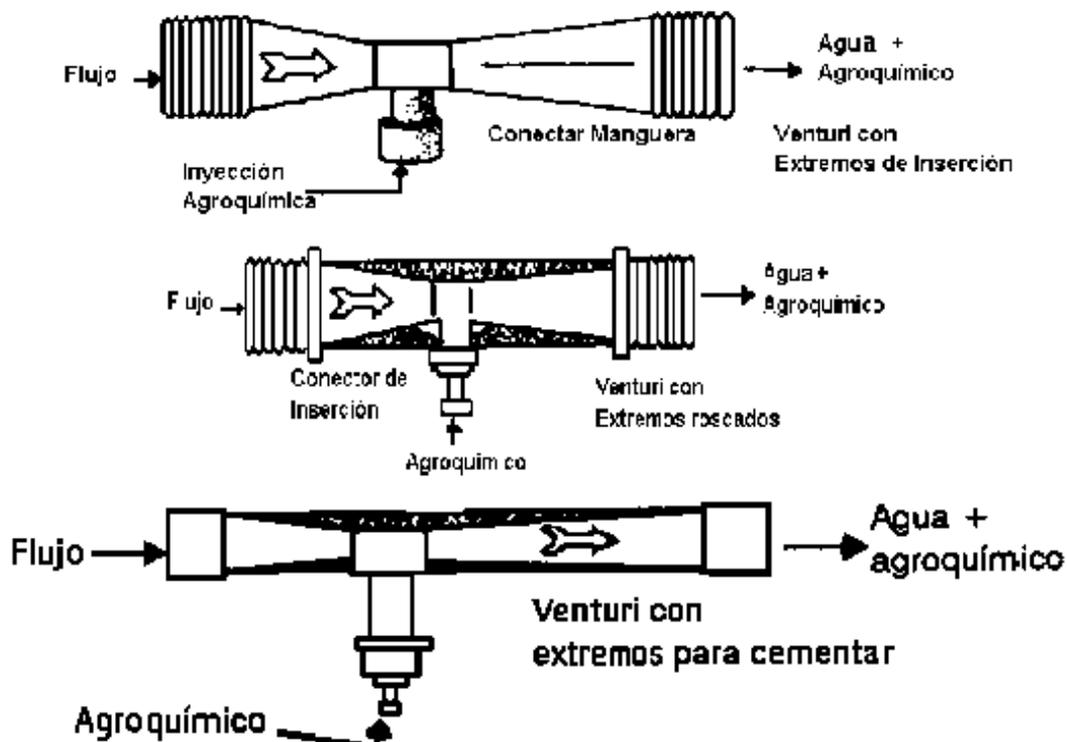


Figura 30. Inyectores Tipo Venturi Para Sistemas de Riego, con Capacidad de Succión entre 15 –1500Lph en Tamaños de 12 – 50 mm.

Para ejemplificar el uso del Venturi considere que se desea inyectar fertilizantes y agroquímicos a través de este dispositivo instalado en una tubería de conducción de agua para riego de doce pulgadas y con cuatro pulgadas en la garganta, además presenta una diferencia manométrica de 33 cm. ¿Cuál será el gasto que pasa a través del Venturi?

$$d_a = 12'' = 0.3048 \text{ m.} \quad d_b = 4'' = 0.1016 \text{ m.} \quad h = 33 \text{ cm.}$$

$$Q = K \sqrt{12.6 h}$$

$$K = S_a \sqrt{\frac{2g}{\left(\frac{d_a}{d_b}\right)^4 - 1}} = 0.073 \text{ m}^2 \sqrt{\frac{2(9.8)}{\left(\frac{12}{4}\right)^4 - 1}} = 0.0361$$

$$S_a = \frac{\pi d_a^2}{4} = 0.785 (0.3048)^2 = 0.073 \text{ m}^2$$

$$Q = 0.0361 \sqrt{12.6(0.33)} = 0.0736 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$Q = 73.6 \text{ LPS}$$

EFICIENCIAS DE RIEGO.

La importancia que presenta el ahorro de agua en las áreas bajo riego, se debe básicamente a que desde la fuente de abastecimiento hasta el punto de aplicación del agua a nivel parcelario, ocurren una serie de pérdidas ocasionadas principalmente por la evaporación, infiltración y escurrimiento superficial que pueden reducir la eficiencia total de un proyecto de riego hasta en un 75 por ciento. En diferentes estudios, se ha encontrado que las mayores pérdidas de agua se tienen en los depósitos, así como en la red de distribución (canales de tierra), y en las parcelas, así mismo, las pérdidas menores se tienen en canales revestidos y tuberías.

En los depósitos como presas, estanques, pilas, y otros, las pérdidas por evaporación son proporcionales al tiempo de exposición de la superficie del agua, al viento y la radiación solar. Las pérdidas por evaporación a lo largo de la red de canales tiene poca importancia, dada la reducida área expuesta a evaporarse que en general representa el sistema de operación de una unidad durante el riego. La evaporación en el área de la parcela esta en función del tipo de cultivo y del método de riego.

Las pérdidas por infiltración dependen principalmente de la naturaleza física del terreno, de la superficie total de exposición del cauce en los canales, y la frecuencia de utilidad, las pérdidas en este caso aumentan al incrementarse la distancia de recorrido del agua y por los arbustos o plantas que se desarrollan a la orilla de los canales entre otros, este problema se resuelve estableciendo un adecuado planteamiento de la red de distribución, de tal forma que se evite la presencia de canales que presenten un servicio limitado. Sin embargo, estas pérdidas llegan a ser mínimas si en el diseño hidráulico del canal se considera la sección de máxima eficiencia hidráulica, esta asegura la conducción de un determinado caudal con el mínimo de pérdidas por infiltración.

En los terrenos irrigados, se presentan pérdidas por percolación profunda cuando se aplican volúmenes de agua mayores que los requeridos para humedecer por completo la zona radicular de los cultivos, ya que dicho volumen supera la zona radicular, y por lo tanto no es aprovechado.

Estas pérdidas dependen básicamente de las características del suelo, la pendiente, dimensiones de la parcela y la capacidad del regador en

el manejo del agua; en forma general puede decirse que las pérdidas por percolación profunda aumentan a medida que crece la velocidad de infiltración y disminuyen a medida que la pendiente se incrementa; en cuanto a sus dimensiones si son exageradamente largas, el tiempo de mojado elevado incide en la distribución de la humedad en el suelo.

Para lograr el máximo aprovechamiento del agua de riego es preciso regar adecuada y uniformemente, un riego adecuado aplica la cantidad requerida de agua para cubrir las necesidades del cultivo, así mismo evita toda tipo de perdidas, cuando el riego es excesivo se producen perdidas por percolación ocasionadas por el movimiento del agua por debajo de la zona de raíces del cultivo, lo cual la hace inaccesible. Una aplicación inferior a la evapotranspiración tampoco constituye un riego adecuado ya que el cultivo no es suficientemente abastecido de agua y la producción se afectara seriamente.

Por otra parte, si se tiene como objetivo principal la economía del agua, la distribución de cultivos que requieren riego frecuente, deberán establecerse lo más próximo posible a la fuente de abastecimiento, otras alternativas que se utilizan para disminuir las pérdidas por infiltración es el revestimiento de canales, el uso de impermeabilizantes y conducir el agua a través de tuberías; sin embargo la posibilidad de utilizar estas alternativas depende principalmente del aspecto económico, ya que requiere de inversiones que solo se justifican en ocasiones, en función del valor real o potencial del agua de riego.

Debido a lo anteriormente expuesto, durante la operación de un proyecto de riego, las pérdidas de agua en general deben ser contabilizadas a fin de minimizarlas y mantenerlas dentro de rangos tolerantes, por lo tanto, la eficiencia total depende del control de dichas pérdidas y del mejoramiento de las diferentes eficiencias que intervienen por sección.

La eficiencia de riego es considerada como un sinónimo de un buen o mal uso del agua, sin embargo desde el punto de vista técnico, esta es definida como el porcentaje total de agua aplicada a un área dada la cual está disponible dentro de la zona radicular para satisfacer las demandas del cultivo. Esta definición integra a la mayoría de los fenómenos que se presentan en forma conjunta, por lo tanto es necesario diferenciar los diversos componentes de la eficiencia de riego para poder evaluar en forma integral el proyecto de riego a establecer en una área bajo ciertas condiciones.

Eficiencia de Depósitos (Almacenaje).

La eficiencia de depósitos (Ed), se considera como la relación que existe entre el volumen de agua derivado de un recipiente o deposito y el volumen inicialmente almacenado.

$$Ed = \left(\frac{W_D}{W_{Do}}\right)100$$

Donde:

W_D = Volumen de agua derivado de un depósito.

W_{Do} = Volumen total de agua almacenada.

Eficiencia de Conducción.

La eficiencia de conducción (E_c), es definida por la relación que existe entre el volumen de agua entregado al área de cultivo con respecto al volumen de agua derivado.

$$Ec = \left(\frac{W_p}{W_D}\right) 100$$

Donde:

W_p = Volumen de agua que llega a la parcela.

W_D = Volumen de agua derivada.

La eficiencia por conducción es determinada en canales de longitud considerable o en pequeñas regaderas ya que se considera el mismo principio, variando únicamente sus volúmenes.

Eficiencia de Aplicación.

La eficiencia de aplicación (E_a), es una de las más importantes, esta se considera como la relación que existe entre la lámina de agua incorporada o almacenada en la zona explorada por las raíces y la lámina de agua derivada al campo.

$$Ea = \left(\frac{W_a}{W_c}\right) 100$$

Donde:

W_a = Lámina de agua almacenada en la zona radicular.

W_c = Lámina de agua derivada al campo.

En general, para obtener la lámina de agua almacenada (W_a) en un área de cultivo (A), cuando se conoce el gasto (Q), aplicando en un tiempo (t), se utiliza la siguiente ecuación:

$$W_a = \frac{Qt \ 3600}{A}$$

Donde :

W_a = volumen de agua, Expresado en mm.
 t = Tiempo en hr.
 A = Area en m^2
 Qt = Gasto en LPS.

Estudios realizados por Israelsen durante el año de, 1950 en el Estado de Utah, de los Estados Unidos, considera la eficiencia de riego como una función de la naturaleza física del suelo, sin embargo, en términos generales puede considerarse una eficiencia aceptable del 65% como buena cuando se riega por métodos superficiales, en el cuadro (3) se presentan las diferentes perdidas sobre la base del tipo de suelo.

Cuadro No. 8. Porcentaje de Perdidas que se Tiene para Diferentes Tipos de Suelos.

PERDIDAS	S U E L O S		
	LIGERO	MEDIO	PESADO
En un sistema de distribución	15	8	2
Escurrimiento	2	15	30
Percolación profunda	40	10	5
Total	57	33	37
Total eficiencia %	43	67	63

Eficiencias de Proyecto. La eficiencia de proyecto (E_p), considerada como un componente en el sistema de riego, se obtiene multiplicando las eficiencias por sección analizada.

$$E_p = E_D \times E_C \times E_a$$

Al operar o funcionar un sistema de riego, no deben ser generalizadas las eficiencias, ya que se ha demostrado claramente que el problema en la producción de cultivos no reside únicamente en una alta eficiencia de aplicación, sino también en las eficiencias de distribución y almacenaje, como se describen a continuación:

Eficiencia de Distribución. Un sistema de riego es eficiente cuando las pérdidas de agua por percolación profunda son mínimas y es efectivo si el

agua al ser distribuida sobre el área de cultivo asegura el completo y uniforme humedecimiento de la zona radicular a lo largo toda la superficie que comprende la parcela. Comúnmente tenemos que durante el riego sean melgas o surcos generalmente se infiltre más agua en la cabecera que al final, esta situación se debe a que el agua tiene un menor tiempo de contacto con el suelo.

En melgas, una buena uniformidad de distribución, se logra cuando la diferencia entre el tiempo de avance y recesión es aproximadamente el mismo en cada uno de los puntos sobre la dirección del riego.

En el caso de surcos, se logra una uniformidad de distribución aceptable, cuando se maneja un gasto máximo no erosivo al inicio, para que humedezca rápidamente el área del conducto y alcance el extremo inferior en el menor tiempo posible, posteriormente se reduce a un gasto mas pequeño, que se ajusta a la velocidad de infiltración del suelo.

Para evaluar la efectividad alcanzada durante la operación de un sistema de riego, comúnmente es utilizar el Coeficiente de Uniformidad propuesto por Christiansen (CUC) y o por el coeficiente de uniformidad de Hart, además de la eficiencia de almacenaje (EAL), para conocer el coeficiente de uniformidad de Chest se aplica la ecuación;

$$CUC = \left(1 - \frac{\sum Y}{m n}\right) \times 100$$

Donde:

Cuadro. 9 Componentes para Determinar el Coeficiente de Uniformidad De Christiansen

CUC = Coeficiente de Uniformidad de Christiansen

$\sum Y$ = Es la suma de las desviaciones absolutas de la lámina promedio

m = Lámina promedio Infiltrada

n = Número de Observaciones

El coeficiente de uniformidad es expresado también en función de estimadores estadísticos como la media (Y) y la desviación estándar (S), según fue demostrado por Hart, señalado por:

$$CUH = 1 - 0.978 \frac{S}{Y}$$

Donde:

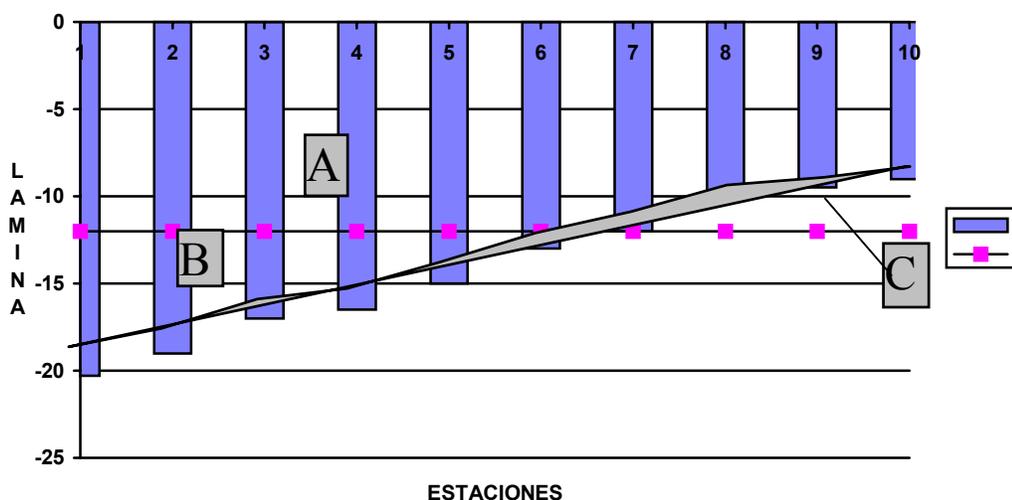
CUH = Coeficiente de Uniformidad Desarrollado por la Hawaiian Sugar Planter's Association

S = Desviación standard de las observaciones de campo

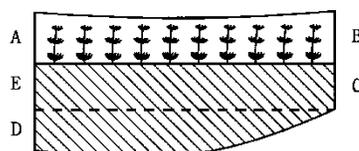
Y = Lámina promedio

Eficiencia de Almacenaje. La eficiencia de almacenaje, se define como la relación que existe entre el agua retenida en la zona radicular y aquella requerida para humedecerla por completo; cuando la cantidad de agua almacenada en la zona radicular corresponde a la requerida, la eficiencia de almacenaje es de un 100 % (con cero déficit), sin embargo, la eficiencia de aplicación (E_a = agua almacenada en la zona radicular / agua total aplicada), puede ser relativamente baja indicando pérdidas por percolación, la eficiencia de almacenaje se conoce por la siguiente ecuación.

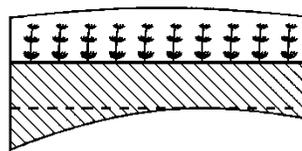
$$E_{al} = \frac{L_a}{L_t} \times 100$$



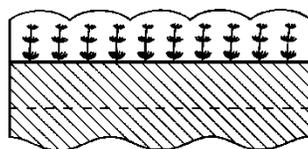
Esesor de agua aplicado durante el riego



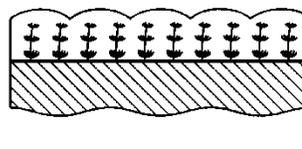
Es=60% Es=100% Ed=90%
(c)



Es=75% Es=100% Ed=30%



Es=80% Es=100% Ed = 95%
(i)



Es=90% Es=90% Ed=85%

Figura 31. Perfil de Distribución del Agua en Riego por Superficie y Diferentes Situaciones que se Pueden Presentar.

- A = Agua almacenada en la zona radicular
B = Agua perdida por percolación profunda
C = Agua no aplicada durante el riego.

Realizando un análisis referente a las diferentes situaciones que se presentan entre las eficiencias y el CUC, se tiene:

- a) Cuando el campo ha sido sobre irrigado la eficiencia de almacenaje es mas alta que la eficiencia de aplicación.
- b) Cuando la lámina promedio infiltrada equivale a la lámina deseada, la eficiencia de aplicación tiene el mismo valor que la eficiencia de almacenaje.
- c) Cuando parte del campo es sobre irrigado, el valor de la eficiencia de aplicación es mucho más alta que aquel para la eficiencia de almacenaje.

CRITERIOS DE SELECCIÓN ENTRE LOS METODOS DE RIEGO

Existe un gran número de consideraciones que deben tomarse en cuenta para la elección del método de riego, ya que las características varían de lugar a lugar y de cultivo a cultivo, esto implica al mismo tiempo tomar decisiones con respecto al método, por ejemplo, si se decide regar un determinado cultivo por melgas rectangulares, aún cuando se trate de un terreno plano, significa que se están considerando posibles inversiones en la nivelación de tierras; por otra parte si se decide regar por melgas en contorno, el costo de acondicionamiento de tierras se reduce a un simple emparejamiento, trazado y construcción de bordos.

La adaptación del método de riego por aspersión en cambio implica altos costos en la instalación de equipo y costo mínimos de desarrollo físico de tierras. En caso que existan varias alternativas la consideración de criterios permite descartar sucesivamente algunos métodos, de esta forma el número de alternativas disminuye para finalmente seleccionar el más conveniente.

La selección del método de riego se basa en criterios que tienen relación principalmente con el cultivo, la topografía, medios económicos, factores climáticos, disponibilidad de mano de obra, tipo de suelo, recursos hídricos.

Cultivos. El cultivo, es considerado como el primer criterio a considerar, ya que en algunos casos el cultivo determina el método de riego. Por ejemplo el arroz se riega por lo general en melgas en contorno o por grandes secciones de inundación, otros cultivos como frutales no soportan la inundación, por lo que deben ser regados por surcos, cajetes, aspersión o goteo.

Topografía. Sin duda el criterio topográfico está íntimamente relacionado a las posibilidades de nivelación, este criterio es un factor que puede ser modificado si se presentan limitaciones en el perfil del suelo y/o derivadas del costo de los movimientos de tierra. Analizando los métodos de riego se puede concluir que el riego por superficie puede realizarse en pendientes planas y onduladas; el riego sub - superficial solo en terrenos muy planos; y el de aspersión, en terrenos planos hasta fuertemente ondulados.

Los estudios de altimetría y planimetría indica la necesidad de nivelación y la dirección del trazo de riego, en este aspecto pendientes de 0.1-0.5% son ideales para el riego por surcos, mientras que para el riego por melgas permite pendientes de 0.1 - 1% y pendientes nulas en el sentido transversal.

Económicos. Con respecto a los medios económicos estos se dividen en:

Costos de construcción y operación de las obras del sistema. El costo de construcción y operación se atiende mediante un sistema de amortización de obras, así como de operación y conservación.

Costos de desarrollo y operación del riego en el predio. Los costos de desarrollo y operación del riego en el ámbito parcelario afecta en forma directa la selección de método de riego, por ejemplo, una inversión mayor en el desarrollo físico de las tierras se traduce en menores costos de operación y conservación. Sin embargo, si se consideran las condiciones económicas, debe de mantenerse como objetivo principal el lograr la más alta remuneración de los recursos básicos; mano de obra, agua, tierra y capital.

Suelo. En relación al tipo de suelo este comprende principalmente las características internas del perfil del suelo tales como profundidad, textura, estructura, capacidad de drenaje, capacidad de retención de humedad y velocidad de infiltración son factores que determinan la selección del método. Así tenemos que suelos poco profundos y/o con excesiva capacidad de infiltración se irriga muy ineficiente con métodos de riego superficiales, si por otro lado se cuenta con una topografía muy irregular el riego por aspersión constituye la única posibilidad.

Agua. El suministro del recurso hidráulico en la parcela en cuanto a gasto, tiempo y entrega, es otro criterio importante, ya que la fuente de abastecimiento condiciona la superficie regable que se debe satisfacer durante la etapa crítica del cultivo (período de máxima demanda). Así mismo si la calidad del agua es mala (CE = 2000 micromhos) la superficie potencial tiene que ser reducida para destinar parte del agua al lavado de sales.

Factores que Favorecen la Selección del Método de Riego

Aún cuando resulta una tarea peligrosa evaluar los criterios de selección de los diferentes métodos de riego y sus variantes, una síntesis de las condiciones de adaptación, limitaciones y ventajas se puede establecer con los factores que señalamos a continuación:

Factores considerados en el Riego por Superficie:

- Requerimientos especiales de agua por cultivo (arroz)
- Limitación de la disponibilidad de agua por período corto
- Mano de obra barata
- Medios económicos limitados
- Topografía de la superficie ideal para operar el riego superficial

Factores Considerados en el Riego por Aspersión:

- Suelos superficiales y porosos sin posibilidades de nivelarlos
- Suelos con problemas de erosión
- Gasto disponible limitado pero frecuente
- Poca disponibilidad de mano de obra
- Costos excesivos de nivelación

Factores Considerados en el Riego por Goteo.

- Suelos superficiales y difíciles de nivelar
- Suelos arenosos
- Gasto disponible pequeño
- Agua salina
- Costo manos de obra alta

METODOS DE RIEGO

El riego tiene como objetivo básico la reposición artificial del agua, con el fin de recuperar el déficit de humedad que resulta de la insuficiente precipitación pluvial. Considerando los criterios de selección, los métodos se clasifican principalmente de acuerdo a la forma de aplicación y distribución del agua, estos son:

- Métodos de Riego Superficial
- Métodos de Riego a Presión
- Métodos de Riego Sub - Superficiales

Riego por superficie. En este tipo el agua se aplica en forma directa de la regadera al área de cultivo y esta penetra en el suelo a medida que avanza sobre la superficie; en este método se suministra un caudal mayor, para que exceda la velocidad de infiltración en el área de la parcela, logrando con esto que el sobrante permita llegar al final lo más rápido posible y completar el proceso de mojado.

Posteriormente se continúa la aplicación del agua de acuerdo al gasto requerido. En este riego el agua es transportada al punto de infiltración a través de la superficie del suelo por pequeños cauces (surcos); o en canales amplios donde dicho gasto cubre totalmente la superficie (melgas).

Riego Sub – Superficial. El agua que consumen los cultivos es abastecida desde un manto freático controlado, cuyo nivel se ubica entre 30 y 50 cm. de la superficie por medio de un sistema de acequias o tuberías que regulan la posición del manto freático. El sistema es de abastecimiento continuo por ascenso capilar desde el manto freático, para que funcione y no ocurran períodos de deficiencia hídrica que puedan afectar el cultivo, la velocidad de ascenso capilar debe igualar a la velocidad de evapotranspiración.

Riego Presurizado. En este método, el agua es aplicada en forma de lluvia o gotas, ya que el caudal es fraccionado en pequeñas cantidades que penetran al suelo durante el tiempo que se aplican en forma continua, o con intervalos de dos o tres días.

CRITERIOS DE SELECCIÓN ENTRE LOS METODOS DE RIEGO

Existe un gran número de consideraciones que deben tomarse en cuenta para la elección del método de riego, ya que las características varían de lugar a lugar y de cultivo a cultivo, esto implica al mismo tiempo tomar decisiones con respecto al método, por ejemplo, si se decide regar un determinado cultivo por melgas rectangulares, aún cuando se trate de un terreno plano, significa que se están considerando posibles inversiones en la nivelación de tierras; por otra parte si se decide regar por melgas en contorno, el costo de acondicionamiento de tierras se reduce a un simple emparejamiento, trazado y construcción de bordos.

La adaptación del método de riego por aspersión en cambio implica altos costos en la instalación de equipo y costo mínimos de desarrollo físico de tierras. En caso que existan varias alternativas la consideración de criterios permite descartar sucesivamente algunos métodos, de esta forma el número de alternativas disminuye para finalmente seleccionar el más conveniente.

La selección del método de riego se basa en criterios que tienen relación principalmente con el cultivo, la topografía, medios económicos, factores climáticos, disponibilidad de mano de obra, tipo de suelo, recursos hídricos.

Cultivos. El cultivo, es considerado como el primer criterio a considerar, ya que en algunos casos el cultivo determina el método de riego. Por ejemplo el arroz se riega por lo general en melgas en contorno o por grandes secciones de inundación, otros cultivos como frutales no soportan la inundación, por lo que deben ser regados por surcos, cajetes, aspersión o goteo.

Topografía. Sin duda el criterio topográfico está íntimamente relacionado a las posibilidades de nivelación, este criterio es un factor que puede ser modificado si se presentan limitaciones en el perfil del suelo y/o derivadas del costo de los movimientos de tierra. Analizando los métodos de riego se puede concluir que el riego por superficie puede realizarse en pendientes planas y onduladas; el riego sub - superficial solo en terrenos muy planos; y el de aspersión, en terrenos planos hasta fuertemente ondulados.

Los estudios de altimetría y planimetría indica la necesidad de nivelación y la dirección del trazo de riego, en este aspecto pendientes de 0.1-0.5% son ideales para el riego por surcos, mientras que para el riego por melgas permite pendientes de 0.1 - 1% y pendientes nulas en el sentido transversal.

Económicos. Con respecto a los medios económicos estos se dividen en:

Costos de construcción y operación de las obras del sistema. El costo de construcción y operación se atiende mediante un sistema de amortización de obras, así como de operación y conservación.

Costos de desarrollo y operación del riego en el predio. Los costos de desarrollo y operación del riego en el ámbito parcelario afecta en forma directa la selección de método de riego, por ejemplo, una inversión mayor en el desarrollo físico de las tierras se traduce en menores costos de operación y conservación. Sin embargo, si se consideran las condiciones económicas, debe de mantenerse como objetivo principal el lograr la más alta remuneración de los recursos básicos; mano de obra, agua, tierra y capital.

Suelo. En relación al tipo de suelo este comprende principalmente las características internas del perfil del suelo tales como profundidad, textura, estructura, capacidad de drenaje, capacidad de retención de humedad y velocidad de infiltración son factores que determinan la selección del método. Así tenemos que suelos poco profundos y/o con excesiva capacidad de infiltración se irriga muy ineficiente con métodos de riego superficiales, si por otro lado se cuenta con una topografía muy irregular el riego por aspersión constituye la única posibilidad.

Agua. El suministro del recurso hidráulico en la parcela en cuanto a gasto, tiempo y entrega, es otro criterio importante, ya que la fuente de abastecimiento condiciona la superficie regable que se debe satisfacer durante la etapa crítica del cultivo (período de máxima demanda). Así mismo si la calidad del agua es mala (CE = 2000 micromhos) la superficie potencial tiene que ser reducida para destinar parte del agua al lavado de sales.

Factores que Favorecen la Selección del Método de Riego

Aún cuando resulta una tarea peligrosa evaluar los criterios de selección de los diferentes métodos de riego y sus variantes, una síntesis de las condiciones de adaptación, limitaciones y ventajas se puede establecer con los factores que señalamos a continuación:

Factores considerados en el Riego por Superficie:

- Requerimientos especiales de agua por cultivo (arroz)
- Limitación de la disponibilidad de agua por período corto
- Mano de obra barata
- Medios económicos limitados
- Topografía de la superficie ideal para operar el riego superficial

Factores Considerados en el Riego por Aspersión:

- Suelos superficiales y porosos sin posibilidades de nivelarlos
- Suelos con problemas de erosión
- Gasto disponible limitado pero frecuente
- Poca disponibilidad de mano de obra
- Costos excesivos de nivelación

Factores Considerados en el Riego por Goteo.

- Suelos superficiales y difíciles de nivelar
- Suelos arenosos
- Gasto disponible pequeño
- Agua salina
- Costo manos de obra alta

METODOS DE RIEGO

El riego tiene como objetivo básico la reposición artificial del agua, con el fin de recuperar el déficit de humedad que resulta de la insuficiente precipitación pluvial. Considerando los criterios de selección, los métodos se clasifican principalmente de acuerdo a la forma de aplicación y distribución del agua, estos son:

- Métodos de Riego Superficial
- Métodos de Riego a Presión
- Métodos de Riego Sub - Superficiales

Riego por superficie. En este tipo el agua se aplica en forma directa de la regadera al área de cultivo y esta penetra en el suelo a medida que avanza sobre la superficie; en este método se suministra un caudal mayor, para que exceda la velocidad de infiltración en el área de la parcela, logrando con esto que el sobrante permita llegar al final lo más rápido posible y completar el proceso de mojado.

Posteriormente se continúa la aplicación del agua de acuerdo al gasto requerido. En este riego el agua es transportada al punto de infiltración a través de la superficie del suelo por pequeños cauces (surcos); o en canales amplios donde dicho gasto cubre totalmente la superficie (melgas).

Riego Sub – Superficial. El agua que consumen los cultivos es abastecida desde un manto freático controlado, cuyo nivel se ubica entre 30 y 50 cm. de la superficie por medio de un sistema de acequias o tuberías que regulan la posición del manto freático. El sistema es de abastecimiento continuo por ascenso capilar desde el manto freático, para que funcione y no ocurran períodos de deficiencia hídrica que puedan afectar el cultivo, la velocidad de ascenso capilar debe igualar a la velocidad de evapotranspiración.

Riego Presurizado. En este método, el agua es aplicada en forma de lluvia o gotas, ya que el caudal es fraccionado en pequeñas cantidades que penetran al suelo durante el tiempo que se aplican en forma continua, o con intervalos de dos o tres días.

RIEGO PRESURIZADO.

Generalmente el riego presurizado se ha utilizado en México en las zonas de bombeo profundo, en las modalidades de :

- Aspersión
- Microaspersión
- Goteo.

Para realizar proyectos de riego presurizado tecnificado, deben usarse eficiencias de conducción del orden de 98%, eficiencias de distribución cercanas a 95%, eficiencias de aplicación del de 95% y coeficientes de uniformidad entre 80% y 90%.

Para diseñar y operar en forma eficiente los sistemas de riego presurizados es necesario conocer los componentes de los sistemas de riego y algunos aspectos de su funcionamiento hidráulico, útiles para su diseño y operación.

Componentes.

Emisores.

Los emisores son dispositivos hidráulicos encargados de aplicar el agua a los cultivos. Dentro de estos se tienen a los goteros, microaspersores, burbujeadores y aspersores. Estos dispositivos funcionan como orificios, microtubos cortos con flujo turbulento o transicional y se representan hidráulicamente con la ecuación de la relación carga - gasto y tablas de características.

Cuadro. 13 Características Hidráulicas de Emisores de Riego Localizado

Emisores	Gasto (l/s)	Carga de Presión (m)	Radio de Mojado (m)
Goteros	0.25 - 8	4- 12	--
Burbujeadores	10 - 500	14 - 50	--
Microaspersores	15 - 200	8 - 25	0.5 - 4

Cuadro. 14 Características Hidráulicas de Emisores de Riego por Aspersión

Emisores	Gasto (l/s)	Carga de presión (m)	Radio mojado (m)
Aspersores Estandar	0.2-1.5	20-50	10-20
Cañones	5-30	25-70	25-65

Las ecuaciones se representan con la forma general :

$$Q_e = K_1 H_e^x$$

Donde:

Q_e	=	Gasto del emisor. (Lts./seg.)
K_1	=	Coefficiente de descarga.(m)
H_e	=	Carga hidráulica
x	=	Exponente de la ecuación.

Los emisores al fabricarse quedan con pequeñas diferencias geométricas que originan variaciones en el gasto al operar a la misma presión y a la misma temperatura. Las variaciones de gasto en los emisores indican la calidad hidráulica de producción, por lo que se ha usado el coeficiente de variación estadístico para comparar y clasificar emisores. Estos se obtiene por la ecuación:

$$CV_q = \frac{S_q}{Q_{me}}$$

Donde:

CV_q	=	Coefficiente de variación del gasto,
S_q	=	Desviación estándar del gasto de los emisores (Lts./seg.)
Q_{me}	=	Gasto medio de los emisores.(Lts./seg.)

Entre mayor es la sección transversal del flujo de agua en el cuerpo del emisor, menor es la posibilidad de obstrucción o taponamiento y los requerimientos de filtrado y prevención de precipitados de sales se reducen.

En el Cuadro 15 se muestra la clasificación de goteros de acuerdo con su calidad, definida por el coeficiente de variación del gotero.

Goteros. Los goteros pueden ser de : orificios en la pared de la tubería, conductos de trayectoria larga con cambios de dirección, vórtices, combinaciones y otras formas geométricas para generar turbulencia en el flujo y pérdidas de energía. Los goteros pueden tener un dispositivo para regular la presión y suministrar gasto constante.

Cuadro.15 Coeficientes de Variación del Gasto para Goteros

Tipo de emisor	CV	Rango de	Clasificación
Emisor puntual	0.04		Excelente
	0.04-0.10		Regular
	0.10-0.15		Pobre
	Mayor 0.15		Inaceptable
Cinta de goteros	0.10		Buena
	0.10-0.20		Regular
	Mayor de 0.20		Inaceptable

Los goteros se usan generalmente en tuberías regantes para cultivos en hileras, formando franjas de humedecimiento a lo largo del cultivo, como se muestra en la siguiente Figura.

**Figura 48. Riego por Goteo para Cultivo en Hileras**

Las cintas plásticas de goteo se utilizan para cultivos de hortalizas o anuales, tienen una duración de seis meses a tres años, mientras que las tuberías de polietileno de pared gruesa, con goteros insertados o construidos en la pared se emplean para cultivos perennes y duran generalmente más de cinco años.

Los goteros de gastos pequeño se utilizan en suelos Franco - Arcillosos y Francos, y los de gasto grande en los suelos Franco - Arenosos y Arenosos, así

mismo se utilizan los de carga hidráulica menor para terrenos planos y a nivel, y los emisores de cargas hidráulicas mayores se usan en terrenos desnivelados o con pendientes no uniformes.

Los goteros de flujo turbulento tienen ecuaciones con exponentes cercanos o iguales a 0.5, son de gasto predecible de acuerdo con la presión de operación, ya que la elevación de la temperatura del agua no afecta su caudal de descarga.

Los goteros de flujo transicional tienen ecuaciones con exponentes que varían entre 0.6 y 0.9, estos son afectados por los cambios de viscosidad cinemática del agua, esto se produce cuando el agua se calienta o enfría, si la temperatura del agua es mayor que la de proyecto, el gasto emitido es mayor y viceversa.

Cuando dos emisores trabajan con el mismo gasto, el que trabaja con la presión menor tiene la ventaja de originar costos menores de energía durante su operación.

Si el sistema de riego es para la producción de hortalizas, puede convenir instalar un sistema de riego de vida útil corta, pero deben considerarse los sistemas preventivos de taponamiento contra sólidos en suspensión, precipitado de sales y presencia de bacterias y algas que afecten la vida útil.

En cambio, si el cultivo es perenne conviene adquirir tuberías regantes con emisores de vida útil larga, con la mayor área hidráulica posible, con un sistema de filtrado adecuado y, además, considerar las técnicas preventivas necesarias, de acuerdo con la clase del agua y los riesgos de taponamientos locales.

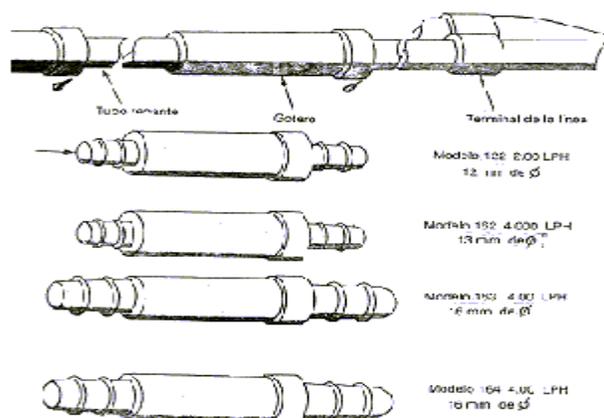


Figura 49. Diferentes Modelos de Emisiones en el Riego por Goteo.

En el cuadro 16 se presentan valores típicos de los coeficientes y exponentes de la ecuación para cuatro tipos de goteros.

Cuadro16 Coeficientes y Exponentes de Ecuaciones Carga-Gasto para Goteros de la Figura Anterior

Gotero	Coeficiente	Exponente
	k_1	x
1	0.2043	0.5100
2	0.2709	0.7902
3	0.6617	0.4973
4	1.3234	0.4973

Burbujeadores. Son emisores que funcionan como un orificio, con área hidráulica mayor que en los goteros, por lo que suministran gastos mayores para presiones similares. Con baja presión producen un chorro que no alcanza a generar lluvia artificial. Se emplean para regar áreas por medio de inundación con cajetes, como en frutales en suelos con texturas franca a arcillosas y también en casos de problemas de taponamientos por precipitado de sales y sólidos en suspensión dentro del sistema de riego. Existe poca información sobre este tipo de emisores ; se considera conveniente no utilizar de regulación manual.



Figura 50. Burbujeadores Utilizados Para Regar Arboles y Cajetes

Microaspersores. Los microaspersores son orificios con deflectores para suministrar agua en forma de lluvia, existen microaspersores con piezas fijas y móviles, pueden tener dispositivo de regulación de presión para terrenos ondulados. Los patrones de mojado dependen del tipo de aspersor y deflector que se usen.



Figura 51. Sistema de Riego por Microaspersión en Frutales

Los microaspersores de piezas fijas pueden humedecer círculos completos (360°) o sectores de círculos (270 , 180 y 90°), generalmente tienen una boquilla u orificio por el que se emite el chorro de agua. Éste al chocar con el deflector, esparce el agua en forma de lluvia o de microchorros.

Los microaspersores con piezas móviles generalmente tienen una boquilla fija y un deflector móvil que se mueve por acción del chorro generando la lluvia con un patrón de mojado circular, estos microaspersores son de gasto y radio de mojado mayores que los de piezas fijas.

Los microaspersores se usan en cultivos de frutales, en floricultura, dentro de invernaderos y en almácigos.

Cuadro . 17 Coeficientes y Exponentes de Ecuaciones de Carga - Gasto de Microaspersores

Aspersores	Coefficiente	Exponente
	k_1	x
1	5.7824	0.4776
2	11.2020	0.5064
3	17.2404	0.4863
4	22.4217	0.5225

Aspersores. Los aspersores son dispositivos que funcionan como orificios a presión, lanzan el agua en forma de chorro, el cual al entrar en contacto con el aire se transforma en pequeñas gotas generando una lluvia artificial. Generalmente el patrón de mojado es circular, sin embargo, existen aspersores que pueden humedecer sectores de círculo mediante un mecanismo de regulación.



Figura 52. Aspersor de Impacto para Uso Agrícola

Los aspersores de impacto funcionan cuando giran intermitentemente mediante un mecanismo formado por un martillo y un resorte, el chorro choca con un deflector que impulsa al martillo y lo hace girar contra la resistencia del resorte; el martillo, por acción del resorte, golpea el cuerpo del aspersor haciéndolo girar y lanzar el chorro en otra dirección.

Los aspersores de rehilete giran por el impulso hidráulico que genera el cambio de dirección del agua en un conducto curvo de los chiflones del aspersor.

Los aspersores se pueden agrupar por su tamaño en aspersores estándar y gigantes, dependiendo del rango de gastos, presiones de operación y radio de mojado. En el cuadro 18 se presentan los parámetros de las ecuaciones de los aspersores típicos.



Figura 53. Tipos de Aspersores Utilizados en el Riego por Aspersión.

Cuadro.18 Coeficientes y Exponentes de Ecuaciones Carga - Gasto de Aspersores Estandar y Gigantes

Aspersores	Coeficiente k_1	Exponente x
Estándar 1	0.0757	0.4914
Estándar 2	0.1210	0.4819
Estándar 3	0.1674	0.5101
Gigante 1	0.8919	0.5434.
Gigante 2	2.1487	0.4858
Gigante 3	3.4650	0.4950

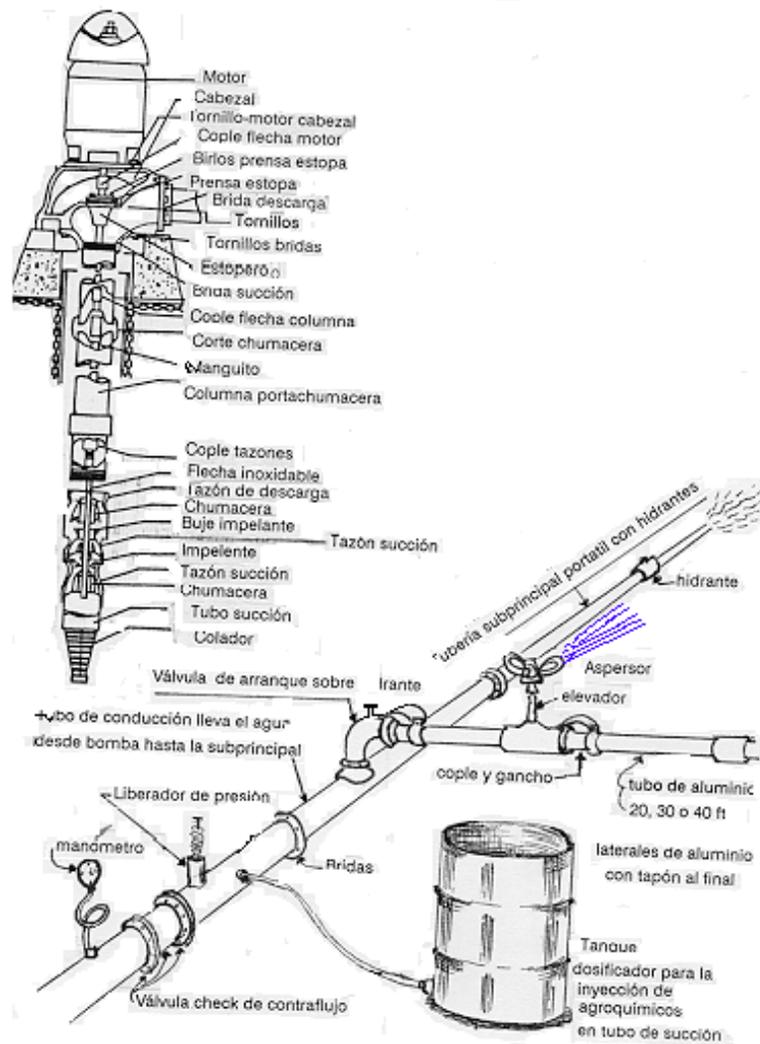
Aspersores de Alta Presión. Los aspersores de este tipo requieren para su funcionamiento una presión que se encuentran entre 4 y 7 atmósferas, estos son considerados como aspersores gigantes, que se adaptan especialmente para cultivos de elevado tamaño, su diámetro de humedecimiento varían entre 60 y 150 m.

TUBERIAS.

Líneas regantes. Las tuberías regantes son aquellas que tienen integrados los emisores para riego y suministran el agua a los cultivos. Se clasifican hidráulicamente como tuberías con salidas múltiples, las pérdidas de carga en las tuberías con salidas múltiples se calculan con el gasto total que entra en la tubería, además es necesario aplica, el coeficiente de salidas múltiples correspondiente al número de emisores que tiene la tubería.

Se considera que la diferencia de gastos, entre el primer y el último emisor, no debe ser mayor que el 10% del gasto del último emisor. En microrriego la diferencia debe ser entre el último emisor y el primero de la sección de riesgo. En tuberías con compuertas y en riego por aspersion debe ser entre el primer emisor y el último de la tubería regante.

Las líneas regantes fabricadas de cintas plásticas con emisores integrados en la pared, al funcional hidráulicamente originan pérdidas de carga por fricción y, debido a que no tiene accidentes, no generan pérdidas de carga locales. Las tuberías con goteros insertados en o sobre la tubería generan pérdidas de carga locales por fricción y también por accidentes en cada inserción. Las tuberías regantes en riego por goteo generalmente son de polietileno de baja y media densidad.



**Figura 54. Componentes de un Sistema de Riego por Aspersión
Tuberías regantes en goteo.**

En las tuberías de microrriego se generan flujos laminar, transicional y turbulento, en la práctica se considera como turbulento todo el flujo para simplificar los cálculos y poder utilizar las fórmulas de pérdidas de energía propuesta por Hazen Williams y Manning.

Tuberías Regantes con Compuertas. En los sistemas de riego con tuberías de conducción de agua a baja presión, se usan las tuberías portátiles con compuertas para aplicar el agua a los surcos o melgas. Éstas se fabrican de aluminio o con cloruro de polivinilo (PVC), con pequeñas compuertas que pueden abrirse parcial o totalmente, para regular el gasto que se requiere por surco o melga, estas tuberías funcionan con flujo turbulento.

Tuberías Regantes en Riego por Aspersión. Las tuberías en los sistemas de riego por aspersión generalmente son fabricadas de aluminio y funcionan con flujo turbulento a alta presión. Los acoplamientos entre las tuberías y sus conexiones con los elevadores de los aspersores, generan pérdidas de carga localizadas. Las tuberías pueden ser portátiles o fijas, dependiendo del tipo de sistema de riego, los acoplamientos de las tuberías portátiles son simples y de instalación rápida.

Tuberías Distribuidoras o Distribuidores. Los distribuidores son las tuberías que suministran el agua a las tuberías regantes y funcionan como tuberías con salidas múltiples, tienen pérdidas de energía por fricción y localizadas en las uniones de las regantes y en las conexiones de tubos del distribuidor, pueden ser de cloruro de polivinilo (PVC) o aluminio.

Tuberías de Conducción. Son el conjunto de tuberías que permiten conducir el agua desde la fuente de abastecimiento hasta las secciones de riego. Comúnmente funcionan como tuberías simples, con pérdidas de carga por fricción y accidentes en accesorios, para el diseño se toman en cuenta los desniveles del terreno, como carga hidráulica potencial.

Las tuberías de conducción son de PCV (clases 100, 125 y 160), de fierro y asbesto cemento.

SECCION DE RIEGO.

Sección de Riego. El conjunto de tuberías regantes, conexiones y distribuidores regulados por una unidad de control autónoma es considerado como una sección de riego, las secciones de riego deben suministrar el agua al cultivo con diferencias de gasto entre emisores, menor del 10%. Generalmente corresponde a una diferencia de presiones entre emisores, del 21% de la carga de operación.

En riego por aspersión una tubería regantes funciona como una sección de riego, debido a que este tipo de tubería opera de manera independiente, con una válvula de control de gasto y presión en la entrada.

La pérdida total de energía en una sección de riego equivale a su carga de operación (H_{os}) [L] esta es la suma de las pérdidas de cargas hidráulicas en : el último emisor (H_e) [L], la tubería regante (H_r) [L], la unión del distribuidor con la regante (H_u) [L], el distribuidor (H_d) [L] y la unidad de control autónoma (H_{uca}) [L], además debe considerarse la ganancia o pérdida de carga potencial por posición (d) [L].

La carga de operación de una sección se calcula con la ecuación siguiente :
 $Hos = H_e + H_r + H_u + H_d + H_{uca} \pm d$

Unidades de control autónomas. Las unidades de control autónomas consisten en accesorios y conexiones para supervisar, controlar la presión y el gasto de operación de una sección de riego. Deben funcionar independientes de las otras secciones. Los componentes son niples, codos, válvulas de cierre y de regulación de presión, manómetro y accesorios hidráulicos necesarios para su instalación.

CABEZAL DE CONTROL.

El cabezal de control tiene como funciones : a) controlar y medir el gasto además de la presión del sistema de riego ; b) dosificar los agroquímicos y c) filtrar el agua. Para cumplir sus funciones, los cabezales de control se componen de bomba, dosificador de agroquímicos, filtro, medidores de gasto y presión, coples, niples, conexiones de diferentes tipos, reducciones y ampliaciones de tuberías.

Equipos de Control. Los sistemas de riego presurizado tienen equipos de control formados por dispositivos para regular su funcionamiento hidráulico, los dispositivos son : medidores de gasto, válvulas de control y seguridad, y manómetros.

Medidores de Gasto. Estos dispositivos relacionan la velocidad del agua en la tubería y el área de paso, con el gasto hidráulico que pasa por ella, cuentan con indicador numérico del volumen que fluye por la tubería. Estos medidores indican directamente el estado del funcionamiento del sistema de riego, los medidores pueden ser de propela, de rotámetro, de placa de orificio y tipo venturi.

- **Propela.** Los medidores de este tipo tienen una hélice que gira al pasar el agua, el número de vueltas de la hélice está relacionado con el volumen que pasa por la tubería, puede tener un indicador de gasto instantáneo e indicador volumétrico, tienen pérdidas de carga del orden de 0.7 m para gastos máximos de operación, se usa en tuberías principales.
- **Rotámetro.** El rotámetro se instala en la tubería para que una pequeña parte del gasto del sistema pase por el rotámetro moviendo un indicador en un tubo con escala de gastos graduales, de acuerdo con el nivel del indicador se lee el gasto en la escala, este medidor genera pérdidas de carga menores a un metro. Y se utiliza en los sistemas de inyección de fertilizadores.

- **Placa de Orificio.** Este medidor consiste en una placa con orificio de diámetro menor que el de la tubería, se instala perpendicularmente al flujo del agua y está calibrada de acuerdo con las pérdidas de carga que genera el agua al pasar por el orificio. El indicador de pérdida de carga puede ser piezométrico o electrónico, en el último caso, se proporciona el gasto instantáneo y el volumen que pasa en cierto intervalo de tiempo. Puede generar pérdida de carga del orden de 1 a 3 metros. Se usa en tuberías principales.
- **Tipo Venturi.** Son similares a los de placa de orificio, pero en lugar de la placa tienen una reducción gradual del área de paso.

Válvulas. Estos equipos son dispositivos de seguridad y control del agua, y sirven para cerrar o abrir conductos, puede regularse el gasto o la presión en una tubería cerrándolas y abriéndolas. Existen diversos tipos de válvulas reguladoras como se indica en seguida.

Válvulas de Seguridad. Son dispositivos que permiten evitar riesgos o daños en el sistema, las válvulas “check”, cuando se cierra el paso del agua en una tubería, evitan que el golpe de ariete afecte al sistema de bombeo. Las válvulas de alivio permiten la fuga del agua o del aire cuando aumenta la presión sobre un límite preestablecido o permiten la salida de aire atrapado, las válvulas de entrada de aire evitan el golpe de ariete o la succión que se origina en los emisores al detenerse los sistemas de bombeo.

Válvulas de Control. Son válvulas de apertura y cierre parcial o total, las válvulas de compuerta tienen un mecanismo de tornillo para abrir y cerrar, por lo que puede regularse su operación, las válvulas de mariposa y de cuadro se usan para operar en posiciones fijas.

Reguladores de Presión. Son dispositivos utilizados para regular el gasto o presión que fluye por una tubería, tienen diferentes mecanismos para generar pérdidas de carga, en general el procedimiento consiste en reducir el área de paso del agua al recibir presiones mayores.

Manómetros. Son dispositivos que se utilizan para checar la presión del agua en conductos cerrados.

Dosificadores de Agroquímicos. Son equipos que sirven para aplicar diferentes productos a través de los sistemas como fertilizantes, fungicidas, herbicidas y soluciones para prevenir taponamientos en los goteros y en las tuberías, pueden emplear energía eléctrica o hidráulica y se clasifican en:

- Bombas Inyectores
- Inyectores por succión
- Inyectores por dilución.

Bombas Fertilizadoras. Estos equipos Inyectan la solución al sistema de tuberías en un punto, donde la presión es menor que la generada por la bomba fertilizadora .

Para conocer el caudal inyectado se pone una escala (regla) en la pila o tanque de la solución fertilizadora, al transcurrir el tiempo, se mide el desnivel en la escala y al multiplicar el área de la pila o tanque por el desnivel, se obtiene el volumen aplicado de solución. Para obtener el caudal inyectado instantáneamente se divide el volumen aplicado entre el tiempo transcurrido, también se puede usar un medidor de gasto en la tubería de inyección.

Inyectores por Succión. El agua derivada entra en un ramal de menor diámetro, en el que se instala un dispositivo denominado “venturi” que consiste en una reducción y ampliación del área de paso del agua. Al pasar el agua aumenta su velocidad en el estrechamiento y luego se reduce al ampliarse, al terminar el estrechamiento e iniciar la ampliación se conecta una entrada de agua o solución, ya que en ése punto se genera una succión que se aprovecha para aplicar soluciones de agroquímicos.

Con la válvula se produce la pérdida de carga que genera la derivación de agua por el ramal, la solución fertilizadora entra a la tubería principal que tiene menor presión.

Cuadro.19 Características de Inyectores por Succión

Carga de Entrada (m)	Gasto del venturi (l/s)	Gasto de succión	Perdida de carga (m)
20	650	220	6.0
30	830	200	9.0
40	950	190	12.0
50	1050	178	15.0

Dosificadores de Tanque. Los dosificadores de agroquímicos que diluyen las soluciones emplean el método del sistema para aprovechar la energía hidráulica e inyectar los fertilizantes. Se emplea un tanque conectado aguas arriba de la válvula de la tubería principal, parte del agua que fluye en la tubería principal se desvía hacia el tanque por otra tubería. cuando las válvulas se encuentran abiertas, el flujo entra en el tanque donde se encuentra la solución del agroquímico con la concentración inicial.

Al entrar y salir agua mediante el flujo se diluye continuamente, lo que permite que la solución fertilizadora salga cada vez más diluida por la tubería y entre en la tubería principal aguas abajo de la válvula para mezclarse con el flujo de la principal.

Decantadores. Son equipos o estructuras que permiten separar las partículas sólidas dispersas en un líquido, siempre y cuando sean de mayor densidad que el líquido.

- **Decantador de Tanque.** Los tanques decantadores aprovechan la energía gravitacional para que las partículas se depositen. Los tanques reciben el agua de la fuente de abastecimiento con sólidos en suspensión, al entrar el agua en el tanque, se reduce su velocidad dando tiempo a que se depositen las partículas en el fondo. Estos sistemas permiten prevenir taponamientos.

Hidrociclón. Cuando se utiliza un hidrociclón se aprovecha la fuerza centrífuga para separar las partículas más densas que el agua, el agua entra en el cuerpo del hidrociclón por una orilla de la parte superior y forma un remolino de manera que las partículas más densas que el agua tratan de seguir una trayectoria tangencial a las líneas de corriente, por lo que se friccionan con la pared del hidrociclón, reduciendo su velocidad por la acción gravitacional, caen hasta un recipiente de almacenamiento de sólidos el agua sale por el centro en la parte superior con un mínimo de sólidos en suspensión, estos decantadores se usan para eliminar arenas.

Cuadro.20 Características de los Hidrociclones

Diámetro del modelo (cm)	Diámetro de entrada (mm)	Rango de gasto (m ³ /s)
40	101.6	30-80
50	152.4	40-120
60	152.4	70-220

Filtros. Estos equipos son dispositivos que sirven para retener partículas en suspensión que pueden tapan los emisores del sistema de riego, esto consisten de una pared separadora cuyos poros o áreas de paso son más pequeños que las partículas que se deben separar. El agua, al pasar por el filtro, genera una pérdida de carga, conforme se ensucia o se va acumulando material que no pasa por el filtro, se reduce al área de paso del agua y se aumenta la pérdida de carga.

Filtro del Malla. Generalmente son tanques que tienen una o dos mallas a través de las cuales debe pasar el agua. La malla exterior tiene orificios más grandes que la malla interior, que sirve como primer filtro, la segunda define el tamaño o la capacidad del filtrado. Algunos filtros tienen una válvula que los limpia mientras operan. El agua con sólidos en suspensión entra en la cámara, formada por la pares del filtro y la malla M-1, luego el agua pasa a la siguiente cámara ya prefiltrada, esta cámara está formada por las mallas M-1 y M-2, de la segunda cámara pasa el agua ya filtrada a la siguiente cámara y sale por la tubería al sistema.

Filtros de Arena. Son tanques que tienen una o más capas de arena como medio poroso para retener partículas, la arena usada es de cuarzo, y a veces se pone grava fina en la capa más baja.

Los filtros de arena deben limpiarse por retrolavado, lo que implica que deben usarse por lo menos dos, aun con alto costo, son aceptados por su buen funcionamiento para retener limos, arcillas y algas.

Accesorios. Son los dispositivos que sirven para hacer conexiones entre las partes del sistema de riego estos pueden ser : coples, nipples, reducciones, ampliaciones, codos, tees, etc. todos generan pérdidas localizadas de carga hidráulica.

RIEGO LOCALIZADO.

En los sistemas de riego localizado, el agua se conduce por tuberías, a presión mayor que la atmosférica, el agua se suministra al suelo mediante emisores que la dispersan, humedeciendo la zona de las raíces. Estos emisores permiten aplicar la cantidad de agua requerida por el cultivo en intervalos de tiempo cortos. En general, los sistemas de riego presurizados permiten la mecanización y automatización de las operaciones agrícolas como la aplicación de agroquímicos.

Estos sistemas generalmente se emplean de acuerdo con los cultivos y sus características de funcionamiento, los sistemas de riego localizado por molde o goteros fabricados con molde o goteros compactos se utilizan en cultivos perennes como la vid. Los sistemas de riego por goteo de tipo de cinta se usan en cultivos de hortalizas, los sistemas de riego por microaspersión y borboteo se utilizan en frutales.

Cuando el riego localizado se aplica debajo de la superficie del suelo se le denomina riego subsuperficial, este método consiste en suministrar el agua al suelo, a una profundidad aproximada de 15 cm para que pueda distribuirse en la zona radical por capilaridad. Es muy empleado en hortalizas y consiste en aplicar el agua mediante tuberías de polietileno (cinta) con emisores integrados.

Tipos de Sistemas.

Por el tipo de emisor empleado se tienen los siguientes sistemas de riego localizado : goteo, microaspersión y burbujeadores.

Sistemas de Goteo. Los sistemas de riego por goteo suministran el agua a los cultivos en forma de gotas directamente al suelo, con láminas de riego pequeñas e intervalos de tiempos cortos, estos se pueden agrupar en dos grandes grupos, según su tipo de emisión ; sistemas de emisión puntual (individual) y tubería de emisión continua (cinta regante).

En los goteros puntuales o de molde, el patrón superficial de mojado consiste en una franja irregular humedecida de suelo, el espaciamiento entre emisores varía de 0.5 m a 1.0 m, dependiendo del alcance capilar del agua en el suelo, espaciamentos menores entre goteros aumentan mucho el costo de adquisición del sistema de riego.

En los goteros de emisión continua o cintas regantes, el patrón de mojado tiende a ser una franja continua, ya que el espaciamiento entre emisores es muy pequeño, menor de 0.60 m.

Los sistemas de riego por goteo deben estar diseñados para evitar encharcamientos, en caso de que éstos se presenten no deben ser mayores del 10% del área sembrada. Para evitar encharcamientos se deben utilizar goteros de gastos menores de 2 ½ en suelos de texturas francas, y mayores de 2 ½ en suelos de texturas Franco - Arenosas y Arenosas.

En terrenos planos se pueden utilizar goteros de carga baja de operación, menor de 8 m, en terrenos con topografía irregular o pendientes menores de 2% goteros la carga debe ser mayo de 8 m y, por último, en terrenos de lomeríos y con pendientes fuertes se deben utilizar goteros con compensadores de gasto.

Las secciones de riego por goteo deben diseñarse mediante distribuidores con reguladores de presión en la entrada de las tuberías regantes o sin regulador, dependiendo del tamaño de la sección y de las condiciones topográficas.

Sistemas de Riego con Burbujeadores. Estos sistemas de riego suministran el agua a los cajetes o al área irrigada en forma de chorro irregular, sin llegar a formar lluvia artificial. Los sistemas de riego por burbujeo generalmente tienen tuberías regantes con diámetros mayores que los de goteo y microaspersión, debido a la magnitud del gasto de los emisores, generalmente se usa un burbujeador por árbol.

Sistema de Microaspersión. Los sistemas de riego por microaspersión suministran el agua a los cultivos en forma de lluvia artificial, la aspersion se aplica generalmente a cada árbol.

Los difusores de los microaspersores presentan varias formas de asperjar el agua, como la lluvia en círculos o sectores de círculos, la nebulización y los chorros, los microaspersores deben seleccionarse con gastos adecuados para evitar encharcamientos y escurrimientos de agua, así mismo deben utilizarse láminas precipitadas horarias que no excedan la velocidad de infiltración del agua en el suelo.

DISEÑO DE SISTEMAS DE RIEGO LOCALIZADO.

Los sistemas de riego localizado deben adaptarse a las condiciones del predio donde se pretenden instalar, por lo tanto es necesario tomar en cuenta la información del suelo, agua, clima y cultivo para seleccionar el sistema de riego, el tipo de emisor, el equipo de fertilización, el filtro y otros dispositivos. Deben

realizarse anteproyectos muy simples que conduzcan a una estimación de costos.

Información Requerida.

Para la selección y diseño de los sistemas de riego, es necesario disponer de la información mínima como se indica a continuación;

Requerimientos Agronómicos

Cultivo.

- Espaciamientos entre plantas e hileras de plantas.
- Orientación

Gasto de Aplicación de Agroquímicos por Medio del Sistema de Riego.

Características de Labranza de la Maquinaria Agrícola.

Requerimiento Diario Máximo de Riego.

Topografía.

El plano topográfico debe estar a una escala de 1 :1000 y con curvas de nivel a 1 m de equidistancia vertical o de las pendientes del terreno.

Características del Suelo.

- Textura del suelo
- velocidad de infiltración básica del agua en el suelo.
- Densidad Aparente
- Capacidad de retención de la humedad

Características de la Fuente de Abastecimiento

- Gasto de la fuente de abastecimiento.
- Tipo : Superficial o subterránea.

Fuente de Energía.

- Eléctrica
- Combustión interna
- Cinética
- Eólica

Aspectos Humanos.

- Horarios de trabajo
- Días de descanso.

METODO DE CALCULO

El método de cálculo que se presenta considera :

- a) un coeficiente de rugosidad de Manning = 0.009, representativo de los materiales utilizados comercialmente ;
- b) un coeficiente de salidas múltiples de 0.35.

Las consideraciones anteriores permiten al diseñador obtener resultados rápidos y seguros, sin entrar en cálculos detallados. En el diseño de los sistemas de microrriego se efectúan cálculos hidráulicos para determinar las pérdidas de carga en :

- Tuberías con salidas múltiples
- Tuberías simples
- Accesorios y equipos especiales.

Los diseños deben llenar el requisito de alta uniformidad de aplicación del agua a través de los emisores. Por otra parte, se consideran las opciones que se presentan en la práctica como son :

- Terrenos a nivel o con pendiente
- Con o sin reguladores de presión en las tuberías regantes.

El método propuesto incluye el cálculos de los siguientes factores:

- Volumen bruto diario.
- Tiempo de riego o de aplicación.
- Carga de operación del emisor.
- Pérdidas de carga permisibles en la sección, en la tubería regante y en el distribuidor.
- Número máximo de salidas en las tuberías.
- Ajuste del número de emisores en la regante y salidas en el distribuidor.
- Gasto en la tubería regante.
- Gasto en la última salida del distribuidor.
- Pérdidas de carga en tuberías con salidas múltiples.
- Gasto de la sección y número de secciones.
- Pérdidas de carga en la conducción.

- Pérdidas de carga localizadas en el sistema de riego.
- Carga potencial de posición
- Carga total de operación del sistema
- Gasto total del sistema.
- Información para la selección de la bomba.

Volumen Bruto Diario. El volumen bruto diario que se debe aplicar se calcula con la ecuación (VBD) el numerador representa el volumen de agua neto por aplicar y el denominador la eficiencia de aplicación estimada a partir del coeficiente de variación del gasto del emisor (CVq).

En la ecuación fórmula se utiliza el factor de superficie, si se considera que el agua se evapotranspira en toda la superficie, se usa $F_1 = 1$; y si se considera que se consume sólo en la fracción humedecida del suelo, F_1 adquiere el valor de esa fracción, por ejemplo, si se humedecen $\frac{3}{4}$ partes, entonces $F_1 = 0.75$.

También se usa el factor de tiempo de operación F_2 , si se riega todos los días $F_2 = 1$; si se riega seis días a la semana entonces $F_2 = 7/6 = 1.17$.

$$VBD = \frac{EeErETpF1F2}{1-CVq}$$

Donde :

VBD	=	Volumen bruto diario.(1)
Ee	=	Espaciamento entre emisores. (m)
Er	=	Espaciamento entre regantes. (m)
Etp	=	Evapotranspiración máxima diaria. (mm)
F1	=	Factor de ajuste por áreas ;
F2	=	Factor de ajuste por días de operación
CVq	=	Coefficiente de variación del gasto. (decimal)

Tiempo de Riego o Aplicación. El tiempo de riego (Tr) se calcula con el volumen bruto diario (VBD) necesario y el gasto nominal o propuesto del emisor (Qe) [1/h.] para lo cual se utiliza la siguiente ecuación.

$$Tr = \frac{VBD}{Qe}$$

Carga de Operación del Emisor. Cuando se tiene la carga nominal de operación del emisor se utiliza directamente, cuando se propone un gasto de emisor, se calcula con :

$$H_e = \left(\frac{Q_e}{K_1} \right)^{1/x}$$

Donde :

H_e	=	Carga hidráulica de operación del emisor. (m)
Q_e	=	Gasto del emisor. (l/h)
K_1	=	Coefficiente de la ecuación carga - gasto
x	=	Exponente de la ecuación carga - gasto

Pérdidas de Carga Permisibles. Las pérdidas de carga permisible que se considera en el diseño de los sistemas de riego son;

- Sección de riego,
- Tubería regante
- Distribuidor.

Las pérdidas de carga permisibles H_p se calculan en función de un coeficiente de pérdidas K_2 y de la carga de operación del último emisor H_e con la ecuación;

$$H_p = K_2 H_e$$

Pérdida de Carga Permisible en la Sección (HPS) La diferencia de presiones de operación entre los emisores en las condiciones más desfavorables en una sección de riego, no debe ser mayor de 21% de la carga del último emisor, para conservar la diferencia de gastos debe ser menor o igual al 10% del gasto del último emisor. Así $K_2 = 0.21$ para la pérdida de carga permisibles en la sección.

En el diseño de las secciones de riego se presentan dos condiciones :

- a) Cuando las tuberías regantes no tienen regulador de presión en su entrada
- b) Cuando hay reguladores de presión en las entradas de las tuberías regantes.

Cuando no hay reguladores de presión, la pérdida de carga permisible en la sección debe distribuirse entre las pérdidas de carga de la tubería regante y las del distribuidor.

Cuando se utilizan reguladores de presión en las tuberías regantes, toda la pérdida de energía se puede disipar en las tuberías regantes, obteniéndose longitudes más grandes.

Pérdida de Carga Permisible en la Tubería Regante (Hpr)

- a) Sin regulador de presión en las tuberías regantes. Para obtener secciones de riego grandes, con la misma pérdida de carga permisible en la sección (0.21He), se consideró el 30% de ésta, como la pérdida de carga permisible en la tubería regantes (Hpr). Por lo que $K_2 = 0.063$.
- b) Con regulador de presión. Se considera el 100% de las pérdidas de carga en la sección, como la pérdida de carga permisible en la tubería regante, por lo que $K_2 = 0.21$

Pérdida de Carga Permisible en el Distribuidor (Hpd)

- a) Sin regulador de presión en los regantes. Se considera el 70% de la pérdida de carga en la sección, como la pérdida permisible en el distribuidor (Hpd), así $K_2 = 0.147$.
- b) Con regulador de presión. La pérdida de carga máxima permisible en el distribuidor, se limita a la generada en el distribuidor cuando en su primer tramo se diseña con la velocidad máxima del agua de 2.0 m/s.

Número Máximo de Salidas en las Tuberías. Las tuberías regantes y los distribuidores deben tener un número de salidas máximo permisible, este varía de acuerdo con la topografía del terreno y pueden presentarse los casos siguientes :

- a) A Nivel
- b) Con pendiente.

En cada uno de los casos anteriores se pueden usar dos alternativas, primero, cuando se requiere diseñar la sección de riego sin reguladores de presión en las entradas de las tuberías regantes y, segundo, cuando se usan los reguladores de presión.

El número máximo de salidas permisibles en las tuberías (N), se calcula con la ecuación siguiente:

$$N = \frac{(K_2 He + d)^{1/3} D^{16/9}}{K_3 Es^{1/3} Qs^{2/3}}$$

Donde :

- | | | |
|----|---|---|
| He | = | Carga hidráulica del último emisor o salida (m) |
| d | = | Desnivel entre la primer salida de la tubería y la última (m) |
| D | = | Diámetro interior de la tubería (mm) |

- Es = Espaciamiento entre salidas (m)
 Qs = Gasto de la última salida (l/h)
 K₂ y K₃ = Constantes que dependen de la existencia de reguladores de presión en las tuberías regantes.

En el cuadro 21 se presentan los valores de las constantes de acuerdo a ciertos casos específicos.

Cuadro. 21 Coeficientes de Calculo para el Numero de Salidas

Tipo de Tubería	Regulador de Presión en la Regante	K ₂	K ₃
Regante	sin regulador	0.063	0.615
Regante	con regulador	0.210	0.628
Distribuidor	sin regulador	0.147	0.632
Distribuidor	con regulador	*	*

Para calcular el valor de d se utiliza la ecuación siguiente ;

$$d = \frac{SEsN}{(1 + S^2)^{1/2}}$$

Donde :

- S = Pendiente del terreno (m/m)
 Ee = Espaciamiento entre emisores (m)
 N = Número de emisores calculado en una primera iteración con desnivel d = 0.

Se sustituye el valor de d obtenido con la ecuación, para obtener el valor de N con pendiente, tomando en cuenta el signo, si la tubería sube, el signo debe ser (-) y cuando baja (+), se itera hasta encontrar un número que difiera en una o dos salidas del cálculo anterior.

Cuando se tienen reguladores de presión, sin importar la pendiente, se calculan las pérdidas de carga para un número máximo de salidas en el distribuidor que genere velocidad del agua máxima de 2.0 mts, para evitar pérdidas de carga muy grandes. El número de salidas (N) se calcula con la ecuación:

$$N = \frac{4.24D^2}{Qsd}$$

Donde:

D = Diámetro interior del distribuidor (mm)
 Qs = Gasto de cada salida del distribuidor. (l/h)

Ajuste del Número de Emisores en la Regante y Salidas en el Distribuidor. Generalmente la forma y el tamaño de cada lote influye en la selección de las dimensiones de la sección de riego. Se deben escoger longitudes de tuberías regantes y distribuidoras submúltiplos de las dimensiones de los lotes, tratando de que todas las secciones de riego sean del mismo tamaño y que se subdivida el gasto del sistema entre todas las secciones de riego sin afectar el gasto total de la bomba.

Gasto en la Tubería Regante. Para calcular el gasto que entra en la tubería regante se requiere conocer el gasto medio de los emisores y este se estima con la siguiente ecuación:

$$Q_{med} = K_4 Q_e$$

Donde :

Q_{med} = Gasto medio de los emisores (L³ T⁻¹)
 Q_e = Gasto del último emisor (L³ T⁻¹)
 K₄ = Coeficiente de gasto.

Se presentan los casos siguientes :

- a) Sin regulador de presión. Se utiliza el 30% de la pérdida de energía en la sección, por lo que debe utilizarse K₄ = 1.0154
- b) Con regulador de presión. Para aprovechar el 100% de la pérdida de energía en la sección, debe utilizarse K₄=1.0488

El gasto que entra en la tubería regantes (Q_r) se obtiene con la ecuación siguiente :

$$Q_r = N Q_{med}$$

Donde :

N = Número de emisores
 Q_{med} = Gasto medio en la tubería regante. (L³T⁻¹)

Gasto de la Última Salida del Distribuidor. Este gasto se determina de acuerdo con el tipo de sección de riego que alimenta, si alimenta regantes de un sólo lado, será igual a :

$$Q_{sd} = Q_r$$

Donde :

$$\begin{aligned} Q_{sd} &= \text{Gasto de la última salida del distribuidor. (L}^3 \text{T}^{-1} \text{)} \\ Q_r &= \text{Gasto de la regante. (L}^3 \text{T}^{-1} \text{)} \end{aligned}$$

Si alimenta dos regantes, una de cada lado del distribuidor queda :

$$Q_{sd} = 2 Q_r$$

Pérdidas de Carga en Tuberías con Salidas Múltiples . Las pérdidas de carga correspondientes a las pérdidas de carga en las tuberías regantes (Hr) o distribuidoras (Hd) y se calculan con la ecuación:

$$H_{sm} = \frac{K_5 N^3 E_s Q_s^2}{D^{16/3}}$$

Donde :

$$\begin{aligned} H_{sm} &= \text{Pérdida de carga en la tubería de salidas múltiples y debe} \\ &\text{sustituirse por Hr o Hd, según sea el caso. (m)} \\ K_5 &= \text{Coeficiente de pérdidas de carga, según el caso que se} \\ &\text{trate ;} \\ D &= \text{Diámetro interior de la tubería. (mm)} \\ N &= \text{Número de salidas en la tubería ;} \\ Q_s \text{ [l/h]} &= \text{Gasto de la última salida de la tubería y } E_s \text{ [m] el} \\ &\text{espaciamiento entre salidas. (l/h)} \end{aligned}$$

Cuadro.22 Coeficientes de Cálculo de Pérdida de Carga

Tuberías	Regulación de presión	K ₅
Regante	Sin regulador	0.2324
Regante	Con regulador	0.2480
Distribuidor	Sin regulador	0.2489
Distribuidor	Con regulador	0.2254

Después de calcular las pérdidas de carga en las tuberías, se comparan con las permisibles, si son menores se aceptan ; si son mayores, se reduce el número de emisores para ajustarlas a las permisibles.

Gasto de la Sección de Riego y Número de Secciones. Puede ser el gasto en la entrada del distribuidor o el doble si alimenta dos distribuidores, el gasto del distribuidor (Qd) se obtiene con la siguiente ecuación:

$$Q_d = N Q_{msd}$$

Donde :

$$\begin{aligned} N &= \text{Número de regantes y} \\ Q_{msd} &= \text{Gasto medio de las salidas del distribuidor.} \end{aligned}$$

Cuando se trabaja sin regulador de presión el gasto medio de las salidas del distribuidor (Q_{msd}) se calcula con :

$$Q_{msd} = 1.0349 Q_{sd}$$

Donde:

$$Q_{sd} = \text{Gasto en la última salida de distribuidor. (L}^3 \text{ T}^{-1} \text{)}$$

Cuando se trabaja con regulador de presión en las regantes y se alimenta sólo una, el gasto medio de cada salida del distribuidor debe coincidir con el gasto de cada regante, se obtiene que el gasto $Q_{sd} = Q_r$. Si alimenta dos regantes de cada lado del distribuidor, se tiene que los gastos son $Q_{sd} = 2Q_r$.

El número de secciones que se riegan simultáneamente se obtiene dividiendo el gasto total del sistema de riego entre el gasto de cada sección, sin embargo debe ajustarse para que se riegue un número de secciones con un gasto que sea prácticamente un submúltiplo del gasto del sistema.

Pérdidas de Carga en la Conducción. Es necesario primero determinar los gastos de operación requeridos por tramo de conducción, conocidos se calculan los diámetros máximo y mínimo aplicando la expresión siguiente :

$$D = K_6 Q^{1/2}$$

Donde :

$$\begin{aligned} D &= \text{Diámetro interior de la tubería, (m)} \\ K_6 &= \text{Coeficiente de transformación de unidades y velocidad} \\ Q &= \text{Gasto de la tubería. (m}^3\text{/s)} \end{aligned}$$

Se toma $K_6 = 1.19$ para obtener el diámetro máximo y $K_6 = 0.8$ para calcular el diámetro mínimo.

Se escoge el diámetro mínimo comercial que exista entre los límites obtenidos y se usa la fórmula, para calcular las pérdidas de carga por fricción para cada tramo.

$$H_c = \frac{83.38 \times 10^{-5} L Q^2}{D^{16/3}}$$

Donde : H_c es la pérdida de carga en el tramo considerado, L es la longitud del tramo, Q es el gasto del tramo y D es el diámetro interior de la tubería.

Pérdidas de Carga en el Cabezal de Control. Se deben considerar las pérdidas de carga nominales para los equipos que se instalen como: decantador, dosificador de agroquímicos y filtros.

La pérdida de carga máxima por filtro deben corresponder a cuatro m, que es la de operación estando sucio, debido a que es la condición crítica.

Pérdidas de Carga Localizadas en el Sistema de Riego. Todas las pérdidas de carga por accidentes que se presentan en las tuberías, unidades de control autónomo y por accesorios, se pueden calcular mediante las fórmulas tradicionales ; sin embargo, para simplificar los cálculos se toma el 10% de la suma de las pérdidas de carga en la sección de riego, en las tuberías de conducción y en el cabezal del sistema.

Carga Potencial de Posición. Los desniveles topográficos entre el equipo de bombeo y los diferentes sitios claves del sistema de riego, deben considerarse para aumentar la carga necesaria de bombeo cuando es desfavorable el desnivel, o reducirla en el caso de ser aprovechable hidráulicamente.

Carga Total de Operación del Sistema. Esta se obtiene sumando todas las pérdidas de carga del sistema, tomando en cuenta la carga potencial de posición y la altura de bombeo.

Gasto del Sistema. Cuando se seleccionan las secciones y las unidades de riego, se debe ajustar el gasto de las secciones al gasto de operación disponible en el equipo de bombeo.

Será necesario verificar el gasto del sistema (Q_t) con las ecuaciones siguientes :

En función del gasto de las secciones :

$$Q_t = N_s Q_s$$

Donde :

$$\begin{aligned} N_s &= \text{Número de secciones que se riegan simultáneamente} \\ Q_s &= \text{Gasto de la sección de riego. (L}^3 \text{T}^{-1} \text{)} \end{aligned}$$

En función de la superficie :

$$Q_t = \underline{27.778 S_o E_{tp} N_c}$$

$N_h N_d (1 - CV_q) E_d$

Donde :

S_o	=	Superficie que se riega simultáneamente (ha)
E_{tp}	=	Evapotranspiración diaria (cm)
N_c	=	Número de días del ciclo de evapotranspiración
N_h	=	Número de horas de operación
N_d	=	Número de días de operación del sistema
CV_q	=	Coefficiente de variación del gasto del emisor.(decimal)
E_d	=	Eficiencia de distribución. (decimal)

Información para la Selección de la Bomba. Para realizar la selección se requiere que la bomba y el motor generen la potencia y el gasto necesarios para que funcione correctamente el sistema de riego. En este caso se obtienen la carga total del sistema y su gasto de operación, que se utilizan en la selección de la bomba. En el análisis de equipos de bombeo se trata detalladamente el procedimiento para la selección de la bomba.

Carga Hidráulica Total Necesaria. Aspecto se requiere que la bomba sea capaz de bombear 20 l/s con la carga total del sistema.

EJEMPLOS DE DISEÑO DE SISTEMAS DE RIEGO LOCALIZADO.

RIEGO POR GOTEO PUNTUAL.

Se desea regar con un sistema de riego por goteo un predio plantado con cultivo de vid, que tiene forma rectangular, con 550 m de ancho y 725 m de largo. El terreno tiene pendientes en los dos linderos, $S_1 = 1\%$ y $S_2 = 0.5\%$. El agua se bombea desde un nivel dinámico de 35 m de profundidad.

Información Complementaria :

Gato del sistema	=	50 lps.
Gasto y carga del gotero :	Q_e	= 4l/h ; $H_e = 10$ m
Diámetro interior de la regante :	D_r	= 0.75 m
Coefficiente de variación:	CV_q	= 0.02
Diámetro interior del distribuidor:	D_d	= 0.075 m
Espaciamiento entre plantas :	E_p	= 1.5 m
Espaciamiento entre hileras:	E_h	= 3.0 m
Requerimiento de riego :	E_{tp}	= 7 mm/día
Tiempo de operación :	T_o	= 6 días/semana.

Cálculo del Volumen Bruto Diario. si se considera que se humedecerá el 80% del área total que corresponde a cada planta, el factor de $F_1 = 0.8$.

Si se operará 6 días a la semana, el factor de ajuste por tiempo de operación queda $F_2 = 1.17$

El espaciamiento entre centros de hileras se toma como espaciamiento entre regantes :

$$E_h = E_r = 3 \text{ m.}$$

Sustituyendo los valores en la fórmula :

- Espaciamiento entre goteros
- Evapotranspiración
- Coeficiente de variación del gasto.

$$VBd = \frac{0.75 \times 3 \times 7 \times 0.8 \times 1.17}{1 - 0.02}$$

$$VBd = 15.041$$

Cálculo del Tiempo de Riego. El gasto del emisor recomendado fue de 4 L/h con una carga hidráulica de operación de 10 m, por lo tanto se tiene:

$$Tr = \frac{VBd}{Q_e} = \frac{15.04}{4}$$

$$Tr = 3.76 \text{ h}$$

Pérdida de Carga Permisible. Para este caso no se utilizaran regulador de presión en las tuberías regantes, se procederá a calcular.

Pérdida de Carga Permisible en la Sección. Si la carga hidráulica de operación del gotero es 10 m se tiene que:

$$H_{ps} = 0.21 H_e = 0.21 \times 10 = 2.10 \text{ m.}$$

Pérdida de carga permisible en la regantes.

$$H_{pr} = 0.063 H_e = 0.063 \times 10 = 0.63 \text{ m.}$$

Pérdida de carga permisible en el distribuidor.

$$H_{pd} = 0.14 H_e = 0.14 \times 10 = 1.47 \text{ m.}$$

Número Máximo de Goteros en la Tubería Regante. De acuerdo con la dirección de las hileras de plantas, se escoge que la tubería regante quede en la dirección de las hileras, en este caso la pendiente, $S = 1.0$ por ciento.

Con los valores de :

Carga del último gotero	H_e	=	10 m,
Diámetro interior de la tubería	D	=	0.013 m,
Espaciamiento entre emisores	E_e	=	0.75m
Gasto del último emisor	Q_e	=	4 L/h,

Para iniciar la iteración primero se calcula el número máximo de goteros, obteniendo los valores de $K_2 = 0.063$ y $K_3 = 0.615$ en el cuadro 21 considerando el desnivel de cero, segundo, se obtiene el desnivel con el número calculado de salidas y la pendiente del terreno, y posteriormente se vuelve a calcular el número de salidas y así sucesivamente.

Cuadro 23. Resultados de las Iteraciones para Calcular Numero de Emisores (N) con la Regante de bajada

Iteración	d (m)	N
1	0.00	58
2	0.44	69
3	0.52	71

Como se obtuvo prácticamente el mismo número de emisores en la última iteración, se aceptan 71 goteros para la tubería regante de bajada.

Calculando numero de emisores (N) con signo negativo para el desnivel, y considerando la tubería de subida, se obtienen los siguientes valores.

Cuadro 24. Resultados de las Iteraciones para Numero de Emisores (N) con la Regante de Subida

Iteración	d(m)	N
1	0.00	58
2	0.44	39
3	0.29	47
4	0.35	44
5	0.33	45

Se toman 45 emisores para la tubería regante de subida.

Pérdidas de Carga en las Tuberías Regantes. Para definirla se calculan las pérdidas de carga en la tubería regante de bajada, sustituyendo:

$$\begin{aligned} N &= 71, \\ Ee &= 0.75 \text{ m}, \\ Ge &= 4 \text{ l/h} \\ Dr &= 13 \text{ mm} \end{aligned}$$

Obteniendo

$$K_5 = 0.2324.$$

$$Hr = \frac{0.2324 * 71^3 * 0.75 * 4^2}{13^{16/31}}$$

$$Hr_1 = 1.14 \text{ m}$$

Una vez calculada se verifican con la pérdida permisible, más el desnivel del terreno.

$$Hpr_1 = 0.063He + d$$

$$Hpr_1 = 0.063 \times 10 * 0.52 = 1.15 \text{ m}$$

Posteriormente se calculan las pérdidas de carga en la tubería regante de subida, sustituyendo el valor de número de salidas de emisores $N = 45$

$$Hr_2 = \frac{0.2324 * 45^3 * 0.75 * 2}{13^{16/3}}$$

$$Hrs = 0.29 \text{ m}$$

Una vez calculada se verifica con la pérdida de carga permisible, menos el desnivel del terreno.

$$Hpr_2 = 0.063 \times 10 - 0.33 = 0.30 \text{ m}$$

Cálculo del Número de Salidas de los Distribuidores. Primero es necesario calcular el número máximo de salidas, considerando un desnivel de cero, después se obtiene el desnivel con el número de salidas determinado y la pendiente del terreno se vuelve a calcular el número de salidas y así, sucesivamente.

Como la sección no tiene reguladores de presión en las regantes, el gasto de la última salida del distribuidor se obtiene de la siguiente forma:

- a) Se calcula el gasto medio de los goteros,
- b) Se obtiene el gasto de las regantes
- c) Se determina el gasto de la última salida del distribuidor.

$$\begin{aligned} Q_{med} &= 1.0154 \\ Q_e &= 1.0154 \times 4 \\ &= 4.062 \text{ lph} \end{aligned}$$

$$Q_{r_1} = N Q_{med} = 71 \times 4.062 = 288.40 \text{ lph}$$

$$Q_{r_2} = 45 \times 4.062 = 182.79 \text{ lph}$$

$$Q_{sd} = Q_{r_1} * Q_{r_2} = 288.40 * 182.79$$

$$Q_{sd} = 471.2 \text{ lph}$$

Donde:

Q_{r_1} = Es el gasto de la regante de bajada (l/h)

Q_{r_2} = Es el gasto de la regante de subida (l/h)

Q_{sd} = Es el gasto de salida del distribuidor (l/h)

Obteniendo los valores $K_2=0.147$ y $K_3=0.623$ (para distribuidor con pendiente y sin regulador de presión en la regantes). Si se considera el $d=0$ y sustituyendo $H_e= 10$ m, $D = 75$ mm, $E_s = 3$ m, pendiente 0.005 y el gasto obtenido, se calcula el número máximo de salidas de bajada con el proceso de iterar.

Cuadro 25. Resultados de las Iteraciones para el Numero de salidas del Distribuidor (N) con el Distribuidor de Bajada

Iteración	d(m)	N
1	0.00	44
2	0.66	50
3	0.75	51

Como se obtuvo prácticamente el mismo número de salidas en la última iteración, se aceptan 51 salidas en el distribuidor hacia abajo.

Calculando el numero de salidas del distribuidor (N) con signo negativo para el desnivel, se obtienen los siguientes valores :

Cuadro 26. Resultados de las Iteraciones para Calcular número de salidas del distribuidor (N) con el Distribuidor de Subida

Iteración	d (m)	N
1	0.00	44
2	0.66	36
3	0.54	36

Cálculo de las Pérdidas de Carga en los Distribuidores. Si se utiliza usando el gasto de $Q_{sd} = 471.2$ l/h para la condición de bajada, $D = 75$ mm, el espaciamiento entre salidas $E_s = 3$ m, el número de salidas $N = 51$ y $K_5 = 0.2489$ obtenido de la tabla se tiene :

$$Hd_1 = \frac{0.2489 * 51^3 * 3^3 * 471.2^2}{75^{16/3}}$$

$$Hd_1 = 2.20 \text{ m}$$

Al verificar la pérdida de carga permisible, más el desnivel aprovechado se tiene:

$$Hpd_1 = 0.147 H_e + d$$

$$Hpd_1 = 0.147 \times 10 + 0.75 = 2.22 \text{ m}$$

Se calcula la pérdida de carga del distribuidor con el número de salidas del distribuidor

$N = 38$, correspondiente a la condición de suministro hacia arriba :

$$Hd_2 = \frac{0.2489 * 38^3 * 3 * 471.2^2}{75^{16/3}}$$

$$Hd_2 = 0.91 \text{ m}$$

Una vez calculada se verifica con la pérdida de carga permisible, menos el desnivel.

$$Hpd = 0.147 \times 10 - 0.5 = 0.97 \text{ m}$$

Si la sección de riego tiene las dimensiones siguientes :

Longitudes de las tuberías regantes seran:

$$L_1 = 71 \times 0.75 = 53.25 \text{ m}$$

$$L_2 = 45 \times 0.75 = 33.75 \text{ m}$$

Longitudes de los distribuidores seran:

$$L_3 = 51 \times 3 = 153.0 \text{ m}$$

$$L_4 = 38 \times 3 = 114.0 \text{ m}$$

Si se consideran 3 m de ancho de camino, se tiene :

a) ancho de la sección (La):

$$L_1 + L_2 = 87 \text{ m} \quad L_a = 87 + 3 = 90 \text{ m}$$

b) largo de la sección (L₁):

$$L_3 + L_4 = 267 \text{ m} \quad L_1 = 267 + 3 = 270 \text{ m}$$

c) La superficie neta de riego de la sección (S_n)

$$S_n = 87 \times 267 = 23,229 \text{ m}^2 = 2.3229 \text{ ha}$$

Determinación del Gasto de la Sección y Número de Secciones.

Como la sección no tiene reguladores de presión en las regantes, se calcula de la siguiente manera:

a) Se obtiene el gasto medio de las salidas del distribuidor,

b) Se determina el gasto de los distribuidores

c) Se calcula el gasto de la sección.

$$Q_{msd} = 1.0349 Q_{sd}$$

$$Q_{msd} = 1.349 \times 471.2$$

$$Q_{msd} = 487.65 \text{ l/h}$$

$$Q_d = N Q_{msd}$$

$$Q_{d1} = 51 \times 487.65$$

$$Q_{d1} = 24800.89 \text{ lph}$$

$$Q_{d1} = 6.91 \text{ l/s}$$

$$Q_{d2} = 38 \times 487.65$$

$$Q_{d2} = 18,530.51 \text{ l/h}$$

$$Q_{d2} = 5.15 \text{ l/s}$$

$$Q_s = Q_{d1} + Q_{d2}$$

$$Q_s = 6.91 + 5.15$$

$$Q_s = 12.06 \text{ l/s}$$

El número de secciones que se riegan simultáneamente será:

$$N_s = \frac{Q_t}{Q_s} = \frac{50.00}{12.06}$$

$$N_s = 4.15$$

El sistema trabajará con cuatro secciones de riego que operan simultáneamente con 12.5 l/s cada una. Es necesario trazar las secciones en el plano para observar si hay problemas con las dimensiones. Por último ver el plano general del proyecto de riego por goteo tipo puntual.

Pérdidas de Carga en la Conducción. Es necesario definir el trazo de la red, dividiendo el gasto lo más cerca posible de la bomba, además se separan al máximo las secciones de riego simultáneamente. Se definen los gastos por tramo de la red y se define el camino crítico. En este caso, las tuberías de distribución funcionan con el gasto de la sección o con el doble.

En el plano del proyecto se identifican los gastos de operación, además con ellos se determinan los límites de diámetros, para su selección.

$$\begin{aligned} D_{\text{máx}} &= 1.19 Q^{1/2} \\ D_{\text{mín}} &= 0.80 Q^{1/2} \end{aligned}$$

Considerando el gasto para dos secciones :

$$D_{\text{máx}1} = 1.19 \times 0.025^{1/2} = 0.188 \text{ m}$$

$$D_{\text{mín}2} = 0.80 \times 0.025^{1/2} = 0.126 \text{ m}$$

$$\text{Por lo tanto se selecciona el diámetro } \phi_1 = 160 \text{ mm}$$

Considerando el gasto para una sección se tiene:

$$D_{\text{máx}2} = 1.19 \times (0.0125)^{1/2} = 0.133 \text{ m}$$

$$D_{\text{mín}2} = 0.80 \times (0.0125)^{1/2} = 0.089 \text{ m}$$

$$\text{Por lo tanto se selecciona el diámetro } \phi_2 = 100 \text{ mm}$$

Mediante la fórmula se calculan las pérdidas de carga por cada tramo, utilizando los diámetros, las longitudes y los gastos correspondientes se tiene :

$$H_{0-4} = \frac{83.38 \times 10^{-5} \times 482 \times 0.25^2}{(0.16)^{16/3}}$$

$$H_{0-4} = 4.41 \text{ m}$$

$$H_{4-8} = \frac{83.38 \times 10^{-5} \times 360 \times 0.0125^2}{(0.10)^{16/3}}$$

$$H_{4-8} = 10.10 \text{ m}$$

$$H_{8-12} = \frac{83.38 * 10^{-5} * 440 * 0.025^2}{0.10^{16/3}}$$

$$H_{8-12} = 4.03 \text{ m}$$

$$H_{12-16} = 10.10 \text{ m}$$

Cuadro 27. Características de las Tubería de Conducción

Tramo	L (mm)	D (mm)	Q (l/s)	Hf (m)N
0-4	482	160	25.0	4.41
4-8	360	100	12.5	10.10
8-12	440	160	25.0	4.03
12-16	360	100	12.5	10.10

Pérdidas de Carga en el Cabezal de Control. Las pérdidas de carga y las características de funcionamiento hidráulico de los equipos, se obtienen de la información técnica proporcionada por los fabricantes.

- Pérdida de carga por dosificador de agroquímicos. Al seleccionar un venturi que succione 220 l/h de gasto para inyectar los fertilizantes al sistema, se observa que para lograr el gasto, se pierden 6 m de carga hidráulica, que pasan por el venturi 650 l/hora.
- Pérdida de carga por filtro. En éste aspecto se seleccionan filtros de malla y de arena para que pasen 50 lps por el sistema de filtrado. Se considera que la pérdida de carga por filtros, funcionando sucios, no debe exceder a 4.0 m, ésta se considera la pérdida de carga para diseño.
- Pérdida de carga por hidrociclón. Para este caso se considera que la pérdida de carga es 1.0 m de acuerdo con las especificaciones del fabricante.

Las pérdidas de carga por equipos en el cabezal (H_{cab}) se obtiene :

$$H_{cab} = 6+4+1=11 \text{ m}$$

Cuadro 28. Perdidas de Carga Hidráulica en el Sistema

Cocepto	H (m)
Gotero	10.00
Perdida en la regante	0.63
Perdida en el distribuidor	1.47
Perdida de carga en la conducción	14.51
Perdida en el fertilizador	6.00
Perdida en el filtro	4.00
Pérdida en el hidrociclón	1.00
Perdidas de carga localizadas	3.76
TOTAL	41.37

Pérdidas de Carga Localizadas en el Sistema. Para conocerlas se suman las pérdidas de carga de todas las partes del sistema como son:

$$H_t = H_e + H_r + H_d + H_c + h_{cab}$$

$$H_t = 10 + 0.63 + 1.47 + 14.51 + 11.00$$

$$H_t = 37.61 \text{ m}$$

Si se considera un 10% de la carga, ésta será igual a:

$$H_1 = 0.1 H_t$$

$$H_1 = 0.1 \times 37.61 = 3.76 \text{ m}$$

$$H_1 = H_t + H_L = 37.61 + 3.76 = 41.37 \text{ m}$$

Carga Hidráulica Total Requerida. Se requiere que la bomba sea capaz de bombear 50 lps con la carga total del sistema. Para éste sistema ésta se obtiene sumando todas las pérdidas de carga del sistema, la carga potencial de posición y la altura de bombeo.

Para calcular la carga potencial de posición, se toma en cuenta el desnivel topográfico a partir de la cota de la bomba hasta la parte más alta que tiene el sistema de riego, para éste caso se tiene:

Cota de la base de la bomba 107.00 m

En el plano general del proyecto, se determinan las longitudes de los tramos que deben considerarse para obtener el desnivel crítico, basándose en lo anterior se tiene :

$$\text{Longitud (1) (720-34 m)} = 686 \text{ m}$$

Como la pendiente es de 1% se tiene:

$$\text{Desnivel (1)} = 686 \times 0.01 = 6.86 \text{ m}$$

$$\text{Longitud (2)} = 156 \text{ m}$$

Como la pendiente es de 0.5%, se tiene :

$$\text{Desnivel (2)} = 156 \times 0.005 = 0.78$$

$$\text{Desnivel total} = 6.86 + 0.78 = 7.64 \text{ m}$$

Considerando que para elevar el agua desde el nivel dinámico del acuífero hasta la superficie deben bombearse 35 m, es necesario calcular la carga total del sistema.

Cuadro 29. Carga Hidráulica Total Necesaria del Sistema.

Concepto	H(m)
Perdida de carga total	41.31
Desnivel del terreno	7.64
Altura de bombeo	35.00
TOTAL	84.01

RIEGO POR CINTA.

Mediante un sistema de riego por goteo tipo cinta, se desea regar un predio plantado con cultivo de cebolla, que tiene forma rectangular (324 X 124) el terreno está a nivel.

Información complementaria. :

Gasto del sistema :	Qt	=	20 l/s
Gasto y carga del gotero :	Qe	=	1 l/h
	He	=	5.6 m.
Diámetro interior de la regante :	Dr	=	0.016 m
Espaciamiento entre emisores :	Ee	=	0.2032 m.
Coefficiente de variación :	CVq	=	0.1
Diámetro interior del distribuidor :	Dd	=	0.1016 m.
Espaciamiento entre plantas :	Ep	=	0.1 m.
Espaciamiento entre hileras :	Eh	=	1 m.
Requerimiento de riego :	Etp	=	7 mm/día.
Tiempo de operación :	To	=	6 días/semana

Se tiene una altura de bombeo al nivel del terreno natural y se bombea de un cárcamo de bombeo.

Cálculo del Volumen Bruto Diario. Para éste caso se considera que el área total se regará con el emisor, por lo tanto el factor de ajuste por área es $F_1 = 1$.

Si se considera que el tiempo de operación es seis días a la semana, el factor de ajuste por tiempo de operación es $F_2 = 7/6 = 1.17$

El espaciamiento entre centros de hileras se tomara como el espaciamiento entre regantes:

$$E_h = E_r = 1 \text{ m.}$$

El espaciamiento entre emisores es de :
 $E_e = 0.2032 \text{ m.}$

La evapotranspiración del cultivo :
 $E_{td} = 7 \text{ mm.}$

Coefficiente de variación :
 $CV_q = 0.15$

$$VB_d = \frac{0.2032 * 1 * 7 * 1.17}{1-0.15} = 1.96$$

$$VB_d = 1.961$$

Cálculo del Tiempo de Riego. De acuerdo al fabricante el gasto del emisor recomendado fue de 1 l/h que requiere de una carga hidráulica de operación de 5.6 m., por lo tanto este es igual a:

$$Tr = \frac{VB_d}{Q_e} = \frac{1.96}{1}$$

$$Tr = 1.96 \text{ h}$$

Pérdidas de Carga Permisibles. Si se considera que se utilizará un regulador de presión en las tuberías regantes, se tiene :

a) Pérdida de carga permisible en la sección.

$$H_s = 0.21 H_e = 0.21 \times 5.6 = 1.176 \text{ m.}$$

b) Pérdida de carga permisible en la regantes.

$$H_r = 0.063 H_e = 0.063 \times 5.6 \text{ m.} = 0.353 \text{ m.}$$

c) Pérdida de carga permisible en la regante.

$$H_d = 0.147 H_e = 0.147 \times 5.6 \text{ m.} = 0.823 \text{ m.}$$

Número Máximo de Goteros en la Tubería Regante. Esta variable se conocerá a partir de los valores de : carga del último gotero $H_e = 5.6 \text{ m}$, diámetro interior de la tubería $D = 0.016 \text{ m}$, espaciamento entre emisores es de $E_e = 0.2032 \text{ m}$, gasto del último emisor $Q_e = 1 \text{ lph}$, a partir de este se inicia la iteración para lo cual se calcula el número máximo de goteros con la ecuación indicada, obteniendo los valores de $K_2 = 0.063$ y $K_3 = 0.615$, además se considera el desnivel como cero, y se obtiene de la siguiente manera;

$$N = \frac{(0.063 \times 5.6 + 0)^{1/3} (16)^{16/9}}{0.615 (0.2032)^{1/3} (1)^{2/3}}$$

$$N = 270 \text{ goteros.}$$

Al considerando el espaciamiento entre emisores, y el numero de goteros se obtiene la longitud de la tubería :

$$L_r = N * E_e = 270 * 0.2032 = 54.86 \text{ m}$$

Número Máximo de Salidas en el Distribuidor. Como no se usa regulador, se calcula el gasto medio de los emisores de la siguiente forma :

$$\begin{aligned} Q_{med} &= 1.0154 Q_e = 1.0154 * 1 \\ &= 1.0154 \text{ l/h.} \end{aligned}$$

Para calcular el gasto por regante será igual a:

$$Q_r = N Q_{med} = 270 * 1.0154$$

$$Q_r = 274.16 \text{ lph ;}$$

como se utilizaran dos regantes conectadas al distribuidor se tiene :

$$\begin{aligned} Q_{sd} &= 2 Q_r = 2 * 274.16 \\ &= 548.32 \text{ lph} \end{aligned}$$

Con los valores de :

Carga del último gotero	He	=	5.6 m,
Diámetro interior de la tubería	D	=	0.1016 m,
Espaciamiento entre salidas	Es	=	1.0 m,
Gasto de la última tubería	Qe	=	548.32 l/h,

Para iniciar la iteración.

Con los datos anteriores se calcula el número máximo de salidas, obteniendo los valores de $K_2=0.147$ y $K_3=0.623$, además se considera el desnivel de cero.

$$N = \frac{(0.147 * 5.6 + 0)^{1/3} (1.016)^{16/9}}{0.623 (1)^{1/3} (548.32)^{2/3}}$$

Se obtiene $N = 83$ salidas.

La longitud del distribuidor será:

$$L_d = N * E_r = 83 * 1 = 83 \text{ m}$$

La sección de riego con máxima en superficie, queda con las siguientes medidas considerando que las medidas del terreno son 324 m. de largo por

124 m. de ancho. Las regantes tendrán el sentido del ancho del terreno, y los distribuidores el largo del terreno .

$$L_r = N_r E_e = 270 \times 0.2032 \text{ m}$$

Línea regante; $L_r = 54.86 \text{ m}$

$$L_d = N_d E_s = 83 \times 1$$

Línea distribuidora; $L_d = 83 \text{ m}$

Donde:

N_r = Es el numero de emisores de la línea regante.

N_d = Es el numero de salidas del distribuidor.

Regando a los dos lados se tiene:

$$L_a = 54.86 \times 2 = 109.72 \text{ m}$$

$$L_1 = 2 \times 83 = 166 \text{ m}$$

De acuerdo con las medidas del terreno pueden colocar distribuidores que cubran anchos de :

$$A_1 = 64 \times 2 = 128 \text{ m}$$

$$A_2 = 60 \times 2 = 120 \text{ m}$$

Dado que el terreno mide , a lo ancho = 124 m

Como la longitud del terreno es de 324 m.

$$L = 324/3 = 108 \text{ m.}$$

Caven tres secciones de riego con ancho de:

$$L_1 = 108 \text{ m y longitud de}$$

$$L_2 = 124 \text{ m,}$$

Así la longitud de la regante queda :

$$L_r = 108/2 = 54 \text{ m y del distribuidor } L_d = 124/2 = 62 \text{ m}$$

Por lo tanto, el número de emisores en la tubería regante se calcula :

$$N = L_r/E_e = 54 \text{ m } /0.2032 \text{ m.}$$

$$N = 265$$

El número de tuberías regantes que quedan en el distribuidor se determina :

$$N = 62/1 = 62 \text{ tuberías regantes.}$$

La superficie por sección de riego es :

$$S = 108 \times 124 = 13\,392 \text{ m}^2$$

Pérdidas de Carga en las Tuberías Regantes. Para calcular las pérdidas de carga en la tubería regante se aplica la ecuación:

$$H_r = \frac{0.2324 * N_e^3 * E_e * Q_e^2}{D^{16/3}}$$

$$H_r = \frac{0.2324 * 265^3 * 0.2032 * 1^2}{16^{16/3}}$$

$$H_r = 0.33 \text{ m}$$

Una vez calculada se verifican con la pérdida de carga permisible en la regante la cual es igual a::

$$H_{pr} = 0.063 H_e = 0.35 \text{ m} > 0.33 \text{ m}$$

Las pérdidas de carga en el distribuidor, es necesario calcular el gasto del primer emisor de la tubería regante y, después, el gasto de la tubería regante :

$$Q_{med} = 1.0154 \times Q_e = 1.0154 \text{ l/h}$$

$$Q_r = N Q_{med} = 265 \times 1.0154 = 0.5$$

$$Q_r = 269 \text{ l/h}$$

Como el distribuidor tiene dos regantes en cada salida, el gasto por salida sera:

$$Q_{sd} = 2 \times 269 = 538 \text{ lph}$$

Una vez conocido el gasto se calculan las pérdidas de carga en el distribuidor.

$$H_d = \frac{0.2489 * 62^3 * 1 * 534^2}{101.6^{16/3}}$$

$$H_d = 0.33 \text{ m}$$

Al verificar con la pérdida de carga permisible se tiene:

$$H_{pd} = 0.147 H_e = 0.82 \text{ m} > 0.33 \text{ m}$$

Determinación del Gasto de la Sección y Número de Secciones.

Como la sección no tiene reguladores de presión en las regantes, se calcula de la siguientes forma:

$$Q_d = 1.0349 \times N \times Q_{sd} = 1.0349 \times 26 \times 538$$

$$Q_d = 34,264 \text{ l/h}$$

$$Q_s = 2 \times Q_d = 2 \times 34,264 = 68,528 \text{ l/h}$$

$$Q_s = 19 \text{ l/s}$$

Por lo tanto el número de secciones que se riegan simultáneamente sera:

$$N_s = 20/19 = 1 \text{ sección}$$

Determinado lo anterior el sistema trabajará con tres secciones de riego, operando sólo una sección por turno de riego.

Pérdidas de Carga en la Conducción. En el plano general se definen los gastos por tramo de la red y se define el camino crítico por lo tanto, se identifican los gastos de operación y con ellos se determinan los límites de diámetros para su selección.

$$D_{\text{máx}} = 1.19 A^{1/2} \text{ y } D_{\text{min}} = 0.80 Q^{1/2}$$

Entonces :

$$D_{\text{máx}} = 1.19 \times 0.019^{1/2} = 0.164 \text{ m}$$

$$D_{\text{min}} = 0.80 \times 0.025^{1/2} = 0.110 \text{ m}$$

Por lo tanto se selecciona el diámetro $D = 152.4 \text{ mm}$, que equivale a seis pulgadas , medida comercial

$$H_c = \frac{83.38 \times 10^5 \times L \times Q^2}{D^{16/3}}$$

$$H_{A-B} = \frac{83.38 \times 10^5 \times 108 \times 0.019^2}{0.1534^{16/3}}$$

$$H_{A-B} = 0.72 \text{ m}$$

$$HB-C = HA-B = 0.72 \text{ m}$$

$$HC-D = \frac{83.38 * 10^5 * 236 * 0.019^2}{0.1534^{16/3}}$$

$$HC-D = 1.56 \text{ m}$$

Cuadro 30. Características Hidráulicas de las Tuberías

Tramo	L(m)	D(mm)	Q(l/s)	Hf (m) N
A-B	108	153.4	19.0	0.72
B-C	108	154.4	19.0	0.72
C-D	236	153.4	19.0	1.56
TOTAL	452		--	--

Cálculo de las Pérdidas de Carga en el Control General del Riego.

Las especificaciones técnicas de los equipos de fertilización, filtrado y decantado, son proporcionadas por el fabricante.

- Pérdida de carga por dosificador de agroquímicos. Seleccionando un venturi que succione 200 l/h de gasto para inyectar los fertilizantes al sistema, en este se pierden 9 m de carga hidráulica, pasando por el venturi 830 l/hora.
- Pérdida de carga por filtro. Se selecciona los filtros de malla y de arena para que pasen 209 l/s por el sistema de filtrado ; en este se considera que la pérdida de carga por filtros, funcionando sucios, no debe exceder 4 m.
- Pérdida de carga por hidrociclón. Para este caso, se considera que la pérdida de carga es 0.5 m de acuerdo con las especificaciones del fabricante.

$$H_{cab} = 9 + 4 + 0.5 = 13.5 \text{ m.}$$

Pérdidas de Carga Localizadas en el Sistema. Para conocerlas se suman las pérdidas de carga de todas las partes del sistema :

$$H_t = H_e + H_r + H_d + H_c + H_{cab}$$

$$\begin{aligned} H_t &= 5.6 + 0.3 + 0.3 + 3.0 + 13.5 \\ &= 22.7 \text{ m} \end{aligned}$$

Si se considera un 10% mas de la carga, esto será igual a:

$$HL = 0.1 H_t$$

$$\begin{aligned} HL &= 0.1 \times 22.7 \\ &= 2.27 \text{ m} \end{aligned}$$

Cuadro 31. Perdidas de Carga Hidráulica Por Cintilla

Concepto	H (m)
Gotero	5.6
Perdidas en la regante	0.3
Perdidas en el distribuidor	0.3
Perdidas de carga en la conducción	3.0
Perdidas en el fertilizador	9.0
Perdidas en el filtro	4.0
Perdidas en el hidrociclón	0.5
Perdidas de carga localizadas	2.27
TOTAL	24.97

Carga Hidráulica Total Requerida. Para este caso se requiere que la bomba sea capaz de bombear 20 l/s con la carga total del sistema.

RIEGO POR MICROASPERSIÓN.

Con la siguiente Información se realizará un diseño de sistema de riego por microaspersión :

Gasto del sistema :	Q	=	50 l/s	
Gasto y carga del microaspersor :	Qe	=	60 l/h ;	He = 13.35 m
Diámetro interior de la regante :	Dr	=	0.019 m.	
Espaciamiento entre emisores :	Ee	=	8 m.	
Coefficiente de variación :	CV	=	0.05	
Diámetro interior del distribuidor :	Dd	=	01016 m.	
Cultivo : Cítricos				
Espaciamiento entre plantas :	Ep	=	8 m.	
Espaciamiento entre hileras :	Eh	=	8 m.	
Requerimiento de riego :	Et	=	6 mm/día	
Tiempo de operación :	To	=	6 días/semana	
Pendiente del terreno :	S	=	2%	

Cálculo del Volumen Bruto Diario. En este caso se considera que se humedecerá el 100% del área total que corresponde a cada árbol, por lo tanto el factor de ajuste por área de operación es : $F_1 = 1.0$

Si se sabe que el tiempo de operación es seis días a la semana, el factor de ajuste por tiempo de operación es $F_2 = 7/6 = 1.17$

El espaciamiento entre centros de hileras se tomó como el espaciamiento entre regantes, por lo tanto esto será igual a :

$$E_h = E_r = 8 \text{ m}$$

El espaciamiento entre microaspersores es de . $E_e = 8 \text{ m}$, que es definido por el espacio entre plantas.

La evapotranspiración del cultivo : $E_t = 6 \text{ mm/día}$.

Coefficiente de variación, $CV = 0.05$

$$VB_d = \frac{8 * 8 * 6 * 1 * 1.17}{1-0.05} = 472.91$$

$$VB_d = 472.91$$

Cálculo del Tiempo de Riego. De acuerdo al fabricante el gasto del emisor recomendado fue 60 lph con una carga hidráulica de operación de 13.35 m, por lo que el tiempo será igual.

$$Tr = \frac{VB_d}{Q_e} = \frac{472.9}{60} = 7.88 \text{ h}$$

$$Tr = 7.88 \text{ h}$$

Pérdidas de Carga Permisibles. Si se considera que se utilizara un regulador de presión en las tuberías regantes, se tiene :

a) Pérdida de carga permisible en la sección.

$$H_s = 0.21 H_e = 0.21 \times 13.35 = 2.80 \text{ m.}$$

b) Pérdida de carga permisible en la regante.

$$H_r = 0.21 H_e = 0.21 \times 13.35 = 2.80 \text{ m}$$

c) En el distribuidor las pérdidas de carga permisibles dependerá de que la velocidad del agua la cual no sobrepase de 2 m/s, estos se calculen tomando en cuenta el gasto de las regantes, que debe ser constante, debido a los reguladores de presión.

Número Máximo de Emisores en la Tubería Regante. La tubería regante se escoge tomando en cuenta que quede en la dirección de la pendiente mínima, es decir $S = 0\%$.

Carga del último emisor,	H_e	=	13.35 m.
Espaciamiento entre emisores,	E_e	=	8 m.
Gasto del último emisor,	Q_e	=	60 lph.
Diámetro interior de la regante,	D_r	=	19 mm.

Con la fórmula conocida se obtiene :

N = 13 emisores

Pérdidas de Carga en las Tuberías Regantes. Las pérdidas de carga en la tubería regante ; Se determina considerando que tiene regulador de presión, por lo tanto esta será igual a:

$$Hr = \frac{0.248 * 13^3 * 8 * 60^2}{19.16^{1/3}}$$

$$Hr = 2.38 \text{ m}$$

Una vez calculada se verifican con la pérdida permisible :

$$H_{perm} = 2.80 \text{ m} > H_r = 2.38 \text{ m}$$

El cálculo de las pérdidas de carga en el distribuidor, cuando se utilizan reguladores de presión en las tuberías regantes, es necesario determinar el número máximo de salidas que genere velocidad media del agua, debe ser menor de 2 m/s para evitar generar pérdidas de carga muy grandes.

$$Q_{med} = 1.05 \times 60 = 63 \text{ l/h.}$$

$$Q_r = 13 \times 63 = 819 \text{ l/h.}$$

$$Q_{sd} = 2 \times 819 = 1,638 \text{ l/h.}$$

Utilizando un diámetro D = 101.6 mm se tiene :

Definido el diámetro se calcula el número máximo de salidas en el distribuidor aplicando la ecuación.

$$N = \frac{4.24 * D^2}{Q_{sd}} = \frac{4.24 * 101.6^2}{1638}$$

$$N = 26$$

Si se considera que el gasto promedio por salida es el gasto de la última regante, es necesario tomar dos veces, porque alimenta dos regantes en cada salida.

Finalmente se calculan las pérdidas de carga en el distribuidor por la ecuación:

$$Hr = \frac{0.2254 * N^3 * E_e * Q_{sd}^2}{D^{16/3}}$$

$$Hr = \frac{0.2254 * 26^3 * 8 * 1638^2}{101.6^{16/3}}$$

$$H_d = 1.68 \text{ m}$$

Tamaño de la Sección. Si tomamos en cuenta que el $E_n = 13$ y el $N_{sd} = 26$, la sección de riego queda definido como sigue:

En el sentido de la pendiente 2% la sección riega hacia los dos lados, esta tendrá una longitud de :

$$L = 26 \times 8 \times 2 = 416 \text{ m}$$

En el otro sentido del terreno la pendiente está a nivel, si se riega por los dos lados, del distribuidor, el ancho de la sección queda :

$$A = 13 \times 8 \times 2 = 208 \text{ m}$$

Basándose en lo anterior la superficie de la sección de riego será de: $\text{Sup.} = 8.6528 \text{ ha.}$

Gasto de la Sección de Riego. Tomando en cuenta que el distribuidor riega con 13 salidas en cada lado del distribuidor, será igual a :

$$Q_s = 2 Q_r \times N_{sd} \times 2$$

$$Q_s = 2 \times 819 \times 26 \times 2 = 85,878 \text{ l/h}$$

$$Q_s = 23.63 \text{ l/s}$$

Si se considera que el $Q_t = 50 \text{ l/s}$ se tiene :

$$N_s = \frac{Q_t}{Q_s} = \frac{50}{23.63} = 2.11$$

De acuerdo a lo anterior se pueden regar dos secciones simultáneamente, sin embargo hay que ajustar el gasto del sistema a las 2 secciones. Tomando en cuenta que el $TR = 8 \text{ h}$ sólo puede haber tres unidades de riego.

Cálculo de Pérdidas de Carga en la Distribución. De acuerdo con el plano es necesario definir el trazo de la red, dividiendo el gasto lo más cerca posible de la bomba y separando al máximo las secciones de riego simultáneo. Un vez realizado lo anterior se definen los gastos por tramo de la red y se marca el camino crítico.

En el plano de proyecto se identifican los gastos de operación y con ellos se determinan los límites de diámetros para su selección.

Considerando la colocación de las secciones de riego es necesario calcular sus diámetros :

Los diámetros máximos que se utiliza será igual a :

$$D_1 \text{ máx} = 1.19 \times Q^{1/2} = 1.19 \times 0.025^{1/2}$$

$$D_1 \text{ máx} = 0.188 \text{ m}$$

$$D_1 \text{ mín} = 0.80 \times q^{1/2} = 0.8 \times 0.025^{1/2}$$

$$D_1 \text{ mín} = 0.127 \text{ m}$$

$$D_2 \text{ máx} = 1.19 \times 0.050^{1/2} = 0.266 \text{ m}$$

$$D_2 \text{ mín} = 0.8 \times 0.050^{1/2} = 0.179 \text{ m}$$

Se seleccionan : D1 = 0.1524 m. Por ser la medida comercial.

$$D_2 = 0.2032 \text{ m.}$$

Una vez determinados. Los diámetros es necesario, calcular las pérdidas de carga mediante la ecuación correspondiente:

$$H_c = \frac{83.38 * 10^{-5} * L * Q^2}{D^{16/3}}$$

$$H_{1-4} = \frac{83.38 * 10^{-5} * 624 * 0.025^2}{0.16^{16/3}}$$

$$H_{1-4} = 5.71 \text{ m}$$

$$H_{4-7} = \frac{83.38 * 10^{-5} * 520 * 0.05^2}{0.2^{16/3}}$$

$$H_{4-7} = 5.79 \text{ m}$$

Cálculo de Pérdidas de Carga en el Control General del Equipo. Las especificaciones técnicas de los equipos de fertilización, decantación y filtrado son proporcionados por los fabricantes como son:

- a) Pérdida de carga por dosificador de agroquímicos. Es necesario seleccionar un venturi que succione 220 lph de gasto para inyectar los fertilizantes al sistema, en estos se pierden 6 m de carga hidráulica, al pasar por el venturi 650 litros por hora.
- b) Pérdida de carga por filtro. El sistema de seleccionar os filtros de malla y arena para que pasen 50 l/s por el sistema de filtrado, se debe considera que la pérdida de carga, cuando está funcionando sucios, no debe exceder 4 metros.

- c) Pérdida de carga por hidrociclón. Para este caso se considera que la pérdida de carga es 1.0 m de acuerdo con las especificaciones del equipo.

Una vez consideradas las pérdidas anteriores, la pérdida en el cabezal será igual:

$$H_{cab} = 6 + 4 + 1.0 = 11.0 \text{ m}$$

Pérdidas de Carga Localizadas en el Sistema (H_L). Éstas se suman a las pérdidas de carga del sistema, y además se considera que el 10%, son las pérdidas de carga localizadas, estas serán igual a:

$$H_t = H_e + H_r + H_d + H_c + H_{cab}$$

$$H_t = 13.35 + 2.38 + 1.68 + 11.5 + 11.0$$

$$H_t = 39.91 \text{ m}$$

$$H_L = 0.1 \times H_t = 0.1 \times 39.91 = 4.0 \text{ m.}$$

$$H_t = 39.91 + 4.0 = 43.91 \text{ m.}$$

Carga Hidráulica Total Requerida. Para este caso se requiere que la bomba sea capaz de bombear 50 l/s con la carga total del sistema, si existen hay problemas de abatimiento del nivel de bombeo, se debe considerar el incremento de profundidad de bombeo, por un lapso de cinco años o los necesarios para evitar la falta de capacidad en un tiempo corto.

Si la cota de la base de la bomba es de 100. m y la tubería está a nivel. las secciones de arriba requieren de presión para vencer el desnivel, por lo tanto se tiene que la longitud hacia arriba y hasta el extremo de los distribuidores, es de 208 m y la pendiente será del 2 por ciento :

$$d = 208 \times 0.02 = 4.16 \text{ m}$$

Si se considera una altura de bombeo de 40 m actual y un abatimiento de 1.5 m por año, se tiene que en cinco años se bajaría el nivel 7.5 m. por lo tanto la altura de bombeo considerada será de 47.5 metros.

Finalmente, la carga total del sistema requerida para operar será la suma de :

$$HT = 39.31 + 4.0 + 4.16 + 47.5 = 94.97 \text{ m}$$

$$HT = 95 \text{ m.}$$

DRENAJE DE TIERRAS AGRICOLAS

Se entiende por drenaje agrícola, todas aquellas acciones que tienden a eliminar los excesos de agua del suelo donde se desarrolla el sistema radicular de las plantas. La finalidad de esta técnica que tiene como objetivo principal el mantener una buena aireación, remoción y lixiviación de altos contenidos de sales, así como la actividad biológica que son indispensables en los procesos fisiológicos de los cultivos creando condiciones óptimas para la producción agrícola.

Tipos de Problemas de Drenaje

Por lo general se presentan dos tipos de problemas de drenaje, estos son:

- Drenaje superficial
- Drenaje subterráneo o interno.

Drenaje superficial. En este caso el agua se encuentra en exceso sobre la superficie del suelo y muy pocos cultivos toleran la inundación por largo tiempo. La tolerancia a ésta inundación depende de factores como el tipo de cultivo, estado de crecimiento, condiciones climáticas, y otros. Sin embargo, pocas son las condiciones que lo permiten, por lo tanto la inundación debe ser abolida.

Las causas que provocan este problema pueden ser diversas tales como avenidas de ríos, inundación de aguas de mar, etc. En algunas ocasiones también ocurre cuando la intensidad de precipitación es mayor que la velocidad de infiltración del suelo.

Drenaje subterráneo o interno. Cuando el drenaje superficial ha sido resuelto no es una garantía para asegurar la producción agrícola ya que si el nivel freático se encuentra muy superficial del suelo se crea el problema de Drenaje Interno.

Las condiciones de humedad y aireación en los horizontes superiores donde se encuentra la zona de radicular del cultivo se localizadas dependen en gran parte del nivel freático, bajo esta condición húmeda, la producción de cultivos se reduce significativamente y las operaciones agrícolas se dificulta.

Origen de los Problemas de Drenaje

Existe un gran número de factores que originan los problemas de drenaje ya sea en forma directa o indirecta. Dentro de las principales causas se encuentran:

- La entrada de agua por corriente subterránea proveniente de los ríos.
- La entrada de corrientes superficiales provenientes de laderas.
- Por la filtración de canales
- La aplicación del riego (principal fuente)
- Baja permeabilidad del suelo
- Mala topografía
- Otras actividades

Conociendo las causas principales que originan los problemas de drenaje se pueden elegir las medidas necesarias para su corrección así tenemos que las medidas para controlar los problemas de drenaje están definidos de acuerdo al tipo de problema así se tienen:

- Control de fuentes superficiales. Formación de bordos y canales protectores de inundación en causes de ríos y arroyos.
- Construcción de drenes interceptores para conducir los volúmenes producidos por la precipitación.
- Redes de canales para recoger los excedentes superficiales del riego.
- Control de fuentes internas
- Revestimiento de canales que producen infiltraciones
- Drenes internos para interceptar las corrientes internas
- Drenes parcelarios
- Drenes de bombeo

Tipos de Drenes

Los drenes pueden calificarse por su construcción, por su funcionamiento y por su disposición en planta.

Por su construcción:

- Drenes abiertos (zanjas con taludes de 0.5 a 1)
- Drenes subterráneos ademados con materia seca
- Drenes subterráneos de tubo de concreto de 4" con filtro

Por su funcionamiento pueden ser:

- Drenes de flujo horizontal
- Drenes por bombeo de acción vertical

Según su disposición en planta:

- **Drenaje libre**
- **Espina de pescado**
- **Doble principal**

Drenaje abierto. Tiene la doble finalidad de colección y remoción de agua de drenaje sean superficial o subterránea. Este método es más favorable en caso que el campo necesite también drenaje superficial, pero presenta la inconveniencia de la pérdida de áreas de terreno.

Drenaje subterráneo. Estos drenes son más costosos que los drenes abiertos, pero tienen la ventaja de no reducir el área de cultivo. Generalmente están constituidos por tubos resistentes a daños mecánicos, químicos y térmicos, además entre tubo y terreno debe haber un material filtro protector para facilitar el funcionamiento del drenaje.

Tipos de tubos utilizados en el drenaje subterráneo:

- **Tubo de barro cocido**
- **Tubos de concreto**
- **Tubos de plástico**



Fig. 55. Tubería para Drenaje Agrícola Utilizada a Nivel Mundial.

Materiales filtroprotectores. Los materiales filtroprotectores tienen las finalidades siguientes:

- Evitar el taponamiento de los ductos
- Facilita el flujo de agua a los tubos

Estos materiales pueden ser:

- Geotextil
- Grava
- Materia orgánica (paja, cáscara de coco, etc.)
- Desperdicio de madera (aserrín).



Figura. 56. Filtro Geotextil para Envolver la Tubería de Drenaje

RIEGO POR ASPERSIÓN.

En este método de riego el agua es aplicada sobre la superficie del suelo en forma de lluvia, de agua es impulsada a presión a través de pequeños orificios o boquillas contenidos en un aspersor, a presión requerida por los aspersores es proporcionada mecánicamente por la bomba o gravitacionalmente por el desnivel entre dos puntos. Los sistemas de aspersión se clasifican con base en su movimiento dentro del terreno, en :

- Sistemas de riego fijos.
- Sistemas semifijos o portátiles con laterales de movimiento periódico que se mueven de una posición a otra, este se realiza en forma manual o mecánicamente.
- Sistemas de movimiento continuo, estos a su vez se clasifican en :
 - Cañón viajero. En este tipo el cañón viajero es jalado por un cable o una manguera, la cual conduce el agua hasta el aspersor.
 - Pivote central. En este caso el lateral se mueve continuamente alrededor de un punto pivote para regar una área en forma circular.
 - Movimiento frontal. Los sistemas de este tipo el lateral se mueve en forma continua y linealmente a lo largo de un tubo o canal.

Sistemas de Riego Fijos y Semifijos.

Estos sistemas de riego están compuestos por una bomba, tuberías de conducción y regantes con sus aspersores,. existen dos variantes en los sistemas portátiles estos son:

- Cuando todas las tuberías del sistema de riego son de aluminio y se pueden mover de una sección de riego a otra.
- Cuando las tuberías de conducción y distribución están enterradas, el lateral se alimenta de un hidrante y se puede mover manual o mecánicamente con un motor.

Los sistemas de riego fijos y semifijos se diseñan siguiendo el mismo procedimiento para lo cual hay que realizar lo siguiente.

Trazo del Sistema de Riego.

El trazo consiste en determinar la orientación de las tuberías sobre el terreno. Por lo general, las tuberías de conducción y distribución se colocan en el sentido predominante de la pendiente natural del terreno, y las regantes paralelamente a ésta. Por ejemplo, si existe un parteaguas natural en el terreno, la tubería de conducción debe colocarse sobre éste para que las regantes se muevan cuesta abajo.

Es muy importante colocar las tuberías de conducción, de tal manera que las regantes se puedan rotar y que estos puedan dividir el gasto a ambos lados, para reducir costos de mano de obra además de minimizar las pérdidas por fricción. Cuando sea posible seleccionar la posición de la bomba, se recomienda colocarla al centro del campo con el objeto de minimizar costos de tubería y de energía.

Cuando el agua se bombea de un canal y el terreno está plano o tiene poca pendiente, los costos de la tubería se pueden reducir conduciendo el agua por zanjas de tierra a la parte media del terreno.

Area Regable.

La superficie que se puede regar con un gasto dado, se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$A = \frac{Q * H * (IR-F)}{Lb}$$

Donde :

A Superficie factible de regarse, [L²] :

Q Gasto disponible en la bomba o en el la bocatoma del canal (L³ T⁻¹)

Lb Lámina bruta de riego, [L] ;

H Fracción del número de horas del día que trabajará el equipo de riego, [TT⁻¹] ;

IR Intervalo de riego, [T] ;

F Días de descanso del sistema de riego entre cada intervalo de riego, [T].

Cuadro 32. Velocidad Máxima de Aplicación (mm/h) para Diferentes Suelos y Pendientes

Textura del Suelo	Pendiente (%)				
	0-5	5-8	8-12	12-20	+de 20
	Velocidad Máxima				
Arena gruesas	50	40	30	20	12.5
Suelos ligero franco arenosos	25	20	15	10	6
Franco limoso	13	10	8	5	3
Arcillas pesadas y franco arenoso	5	4	3	2	1

Cuadro 33. Espaciamiento Máximo entre Aspersores

Espaciamiento entre :	Velocidad del Viento m/s		
	menor de 2.7	2.7-4.2	mayor de 4.2
	Multiplicar el Diámetro de Mojado por :		
Aspersores	0.40	0.40	0.30
Laterales	0.65	0.60	0.50

La fuente de abastecimiento de agua determina la magnitud del gasto disponible, en un pozo el gasto es fijo, mientras que en un canal el gasto es variable, por lo tanto en un canal el gasto se podrá ajustar de acuerdo con las necesidades del diseño del sistema de riego.

Selección del Aspersor y Determinación del Espaciamiento entre Aspersores y Laterales.

Los aspersores se seleccionan considerando características como : presión de operación (baja, media o alta), radio de mojado, tamaño de la gota y ángulo de mojado, el aspersor se selecciona por medio de tanteos, ejecutando los siguientes pasos.

- i) Proponer el tiempo de riego por posición, (T_r) con unidades de h/día. Se recomienda considerar de 6 a 11 horas.
- ii) Calcular la velocidad de aplicación del aspersor (V_a), con unidades de mm/h, aplicando la ecuación:

$$V_a = \frac{L_b}{t_r}$$

Donde:

L_b = Es la lamina bruta de riego (mm)

T_r = Es el tiempo de riego. (h/día)

- iii) Verificar que la velocidad de aplicación del aspersor (V_a) sea menor que la infiltración básica del suelo (V_a máx).

$$V_a \leq V_a \text{ máx}$$

En caso contrario aumentar el tiempo de riego.(t_r).

- iv) Proponer un espaciamiento entre aspersores (E_a) y un espaciamiento entre lateral (E_l), los sistemas portátiles de riego comúnmente tienen los aspersores espaciados a 9, 12 y 18 m y los laterales a 12, 15, 18 o 24 metros.

v) Calcular el gasto del aspersor (q_a) utilizando la siguiente relación :

$$q_a = V_a \times E_a \times E_l$$

Donde:

E_a = Es el espaciamiento entre aspersores (m).

E_l = Es el espaciamiento entre líneas (m).

vi) Seleccionar el aspersor que proporcione el gasto determinado en el paso v, además es necesario anotando sus características, como: marca, radio de mojado (r_m), presión de operación (P_a) y carga de operación (H_a).

vii) Determinar la velocidad del viento a 2 m de altura sobre la superficie del suelo y obtener el espaciamiento máximo permisible, multiplicando el diámetro de mojado nominal del fabricante por el factor proporcionado.

viii) Los espaciamientos máximos deben ser mayores que los espaciamientos entre aspersores y líneas regantes, en caso contrario se selecciona otro aspersor y se regresa al paso vi.

ix) Verificar que el tiempo de riego determinado en el paso i sea mayor que el calculado por la siguiente ecuación:

$$t_r = \frac{E_a * E_l * L_b}{q_a}$$

Si esta condición no se satisface, disminuir el tiempo de riego por posición y regresar al paso ii.

En algunos cultivos, como el plátano, se deben utilizar aspersores de ángulo bajo.

Diseño de la tubería regante.

La longitud de la tubería regante (L_l) se fija generalmente al trazar el sistema de riego, para el diseño se selecciona el diámetro de la tubería regante que minimice las pérdidas por fricción, con el objeto de que todos los aspersores reciban casi la misma presión y proporcionen la uniformidad requerida.

El número de aspersores (N_a) se obtiene por la ecuación con :

$$N_a = \frac{L_l - E_a}{E_a}$$

El gasto de la regante será igual a :

$$Ql = Na \times qa$$

El número de regantes (Nr) que trabajarán simultáneamente se determina con la siguiente ecuación:

$$Nr = \frac{Q}{Ql}$$

En el caso de que Nr no resulte ser un número entero, se recomienda redondear Nr y determinar el nuevo gasto con el cual deberá operar el sistema de riego. La carga de operación de la bomba debe ajustarse seleccionándose adecuadamente el diámetro del distribuidor, otra opción es seleccionar otro aspersor que proporcione el gasto adecuado.

El criterio para seleccionar el diámetro de la regante consiste en limitar las pérdidas de carga por fricción a un 20% de la carga de operación del aspersor, para que la variación del gasto entre los aspersores de una misma línea regante no sea mayor al 10 por ciento.

$$H_{fperm} \leq 0.2 H_a \pm H_d$$

Donde :

h_{fperm} Pérdida de carga por fricción permitida en el lateral, [L] ;
 H_d Desnivel de un extremo a otro de la regante ; es negativo cuando el lateral está cuesta arriba y positivo, cuando está cuesta abajo, [L].

La pérdida de carga por fricción de la regante se calcula con la ecuación de Hazen-Williams además esta debe ser ajustada por el coeficiente de salidas múltiples :

$$hf_l = K \left(\frac{Q}{C} \right)^{1.852} D^{-4.87} \frac{L_l}{100} * CSM$$

Donde :

Q es el gasto de la regante, L/s ;
 C es el coeficiente de fricción que depende del material,
 CSM es el coeficiente de salidas múltiples, adimensional,
 D es el diámetro de a tubería regante, mm ;
 K es el factor de homogenización de unidades,
 $K = 1.212(10)^{12}$

Cuadro 34. Eficiencias de Riego en Diferentes Climas

Clima	Eficiencia (%)
desértico	65
Caliente y seco	70
Moderado	75
Húmedo o frío	80

Cuadro 35. Valores Típicos de C para ser Usados en la Ecuación de Hazen-Williams

Material del tubo	C
Plástico	150
Acero cubierto de epóxico	145
Asbesto cemento	140
Hierro galvanizado	135
Aluminio (con coples cada 30 ft)	130
Fierro nuevo	130
Fierro (15 años de uso) o concreto	100

Cuadro 36. Coeficiente de Salidas Múltiples

Nº salidas	CSM		Nº salidas	CSM	
	1*	2*		1*	2*
1	1.00	1.00	8	0.42	0.38
2	0.64	0.52	9	0.41	0.37
3	0.54	0.44	10-11	0.40	0.37
4	0.49	0.41	12-15	0.39	0.37
5	0.46	0.40	16-20	0.38	0.36
6	0.44	0.39	21-30	0.37	0.36
7	0.43	0.38	+ de 30	0.36	0.36

1* Cuando la distancia entre salidas es la misma

2* Cuando la primera salida se encuentra a la mitad del espaciamiento

La carga requerida a la entrada de la regante es proporcionada por la siguiente ecuación :

$$Hl \text{ en} = H_a + \frac{3}{4} hf_1 + \frac{H_d}{2} + H_e$$

Donde :

Hl es la Carga requerida a la entrada de la regante, [L] ;

He es la Carga requerida para subir el agua a la altura del elevador, [L].

Pérdida por fricción en tuberías telescopiadas.

El término telescopiado se utiliza para definir a la tubería que tiene más de dos diámetros sobre su longitud, esta practica se realiza para economizar el diseño.

Las pérdidas por fricción de esta tubería se calculan comenzando del extremo final y terminando con el principio de la tubería , para lo cual se realiza el siguiente procedimiento:

Primero se calcula la pérdida por fricción del extremo final de la tubería, aplicamos la ecuación:

$$hf_{(L_2, D_2)} = CSM_{(N_1+N_2)} \left[K \left(\frac{Q_2}{C} \right)^{1.852} D^{-4.87} \right] \frac{L_2}{100}$$

Segundo, se calcula la pérdida por fricción de $L_1 + L_2$ como si toda la tubería fuera con del mismo diámetro D_1 ,

$$hf_{(L_1+L_2, D_1)} = CSM_{(N_1+N_2)} \left[K \left(\frac{Q_1}{C} \right)^{1.852} D_1 \right] \frac{(L_1 + L_2)}{100}$$

Tercero, se calcula la pérdida por fricción de L_2 como si esta tuviera un diámetro D_1 , usando el gasto Q_2 :

$$hf_{(L_2, D_1)} = CSM_{(N_2)} \left[K \left(\frac{Q_2}{C} \right)^{1.852} D_1^{-4.87} \right] \frac{L_2}{100}$$

Cuarto, se calcula la pérdida por fricción de L_1 con el diámetro D_1 y Q_1 , posteriormente se resta el resultado de la pérdida de fricción de L_2, D_1 al valor de la longitud $L_1 * L_2, D_1$.

$$Hf_{(L_1, D_1)} = hf_{(L_1 + L_2, D_1)} - hf_{(L_2, D_1)}$$

Finalmente, el resultado se obtiene sumando la pérdida de L_2 y D_2 con la de L_1 y D_1 .

$$\begin{aligned} Hf_{\text{total}} &= hf_{(L_1+L_2, D_1)} - hf_{(L_2, D_1)} + hf_{(L_2, D_2)} \\ &= hf_{(L_1, D_1)} + hf_{(L_2, D_2)} \end{aligned}$$

Selección de la Tubería de Conducción.

El diámetro de la tubería de conducción se selecciona tomando en cuenta que la velocidad del agua en la tubería no debe exceder de 2 m/s para evitar el golpe de ariete, para conocerlo se aplica la siguiente ecuación:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{V\pi}}$$

En ocasiones el diámetro de la tubería de distribución se selecciona considerando que produzca una pérdida de carga para que la bomba opere en el punto deseado de la curva carga – gasto, cuando el motor eléctrico no ha sido seleccionado se recomienda escoger el diámetro que produzca el menor costo, esta es la suma de costos fijos y variables y la combinación que dé el mínimo, es el adecuado.

Presión Requerida a la Entrada del Sistema.

La carga total que requiere la bomba se calcula por la ecuación:

$$H = H_p + H_l + H_{ac}$$

Donde :

H _{ac}	=	Carga requerida en los accesorios (válvulas) . (m)
H _p	=	Carga requerida en la tubería principal o conducción. (m)
H _l	=	Carga requerida en la tubería lateral o regante. (m)

Diseño de un Sistema de Riego por Aspersión

Diseñar un sistema de riego por aspersión tipo portátil. considere que se cuenta con la siguiente información:

Cultivo.		Papa
Profundidad radicular,	Pr	70 cm
Suelo	Textura	Franco Arenosa :
Capacidad de campo.	CC	0.19
Punto de marchites permanente.	PMP	0.07,
pendiente	S	2%
Abatimiento permisible de la HA total.	f	50 %
Clima		Caliente
Eficiencia de aplicación	Ea	0.7
Evapotransp. Potencial diaria máxima.	Etd	7.5 mm/día
Velocidad del viento a 2 m de altura		5 km/hr
Gasto del pozo :	Q	22 l/s

Selección del aspersor.

- a) Se propone un tiempo de riego por posición de 11 h/día para realizar dos cambios por día.
- b) Cálculo de la velocidad de aplicación del aspersor, V_a , mm/hora :

$$L_r = (CC - PMP) \times Pr \times f$$

$$L_r = 4.2 \text{ cm.}$$

La lámina de riego (L_r) se obtiene sustituyendo

$$CC = 0.19$$

$$PMP = 0.07,$$

$$f = 0.5,$$

$$Pr = 70 \text{ cm en la ecuación.}$$

El intervalo de riego (IR), este se obtiene dividiendo la lámina de riego (L_r) entre la evapotranspiración de diseño (ET_d).

$$IR = \frac{L_r}{ET_d}$$

$$IR = \frac{4.2 \text{ cm}}{0.75 \text{ cm/día}}$$

$$IR = 5.6 \text{ días}$$

La lámina bruta se obtiene dividiendo la lámina de riego ($L_r = 4.2 \text{ cm}$) entre la eficiencia de riego ($E_a = 0.7$), resultando:

$$L_b = L_r / E_f$$

$$L_b = 6.0 \text{ cm.}$$

Finalmente, la velocidad de aplicación del aspersor, se calcula con la fórmula siguiente, resultando :

$$V_a = \frac{L_b}{t_r} = \frac{60 \text{ mm}}{11 \text{ hr}} = 5.5 \text{ mm/hr}$$

- c) La velocidad máxima de aplicación del aspersor, según el tipo de suelo y de pendiente ($V_a \text{ máx} = 25 \text{ mm/hr}$).

$$V_a \leq V_a \text{ max}$$

$$5.5 \text{ mm/hr} \leq 25 \text{ mm/hr}$$

La velocidad de aplicación del aspersor es menor a la máxima permitida, por lo tanto se continúa con el diseño.

- d) Seleccionar el espaciamiento entre aspersores y laterales, entre las tuberías comerciales se optó por tomar lo siguiente:

Espaciamiento entre aspersores :

$$E_a = 12 \text{ m}$$

Espaciamiento entre laterales :

$$E_l = 18 \text{ m}$$

- e) Calcular el gasto del aspersor utilizando la ecuación

$$\begin{aligned} q_a &= V_a \times E_a \times E_l \\ &= 0.0055 \text{ m/hr} \times 12 \text{ m} \times 18 \text{ m} \\ &= 1.19 \text{ m}^3/\text{h} \\ &= 0.33 \text{ l/s} \end{aligned}$$

Nota :

Es posible seleccionar un aspersor que tenga un gasto de hasta $5.4 \text{ m}^3/\text{h}$ (1.5 l/s) debido a que el suelo de textura franco arenosa permite una velocidad máxima de aplicación del aspersor de 25 mm/hora .

- f) Seleccionar el aspersor del catálogo del fabricante que proporcione aproximadamente el gasto de $1.19 \text{ m}^3/\text{h}$, anotando su marca, radio de mojado (rm) y presión de operación (Pa).

$$\text{Gasto} = 1.22 \text{ m}^3/\text{h}.$$

Marca = modelo X, diámetro de boquilla = 4.4 mm , boquilla sencilla y tapón, aspersor de impacto.

$$\text{Diámetro de mojado} = 30 \text{ m}$$

$$\text{Presión de operación} = 3 \text{ ATM}$$

$$\text{Carga de operación (Ha)} = 30 \text{ m (se convirtió de ATM a metros).}$$

- g) Al multiplicar el diámetro nominal del fabricante, por el factor del cuadro 33 , (velocidad del viento 1.4 m/s), se obtiene :

$$\text{Espaciamiento Entre Aspersores} = 0.40 * 30 = 12 \text{ m}$$

$$\text{Espaciamiento Entre Líneas Regantes} = 0.65 * 30 = 19.5 \text{ m}$$

- h) El espaciamento máximo permisible es mayor que el espaciamento entre el aspersor y la regante, por lo que se aceptan los espaciamentos propuestos y se continúa la secuencia.
- i) Verificar que el tiempo de riego determinado en el paso 1 sea mayor que el calculado, con la ecuación que se indica:

$$tr = \frac{Ea * EI * Lb}{qa}$$

$$tr = \frac{12 \text{ m} * 18 \text{ m} * 0.06 \text{ m}}{1.22 \text{ m}^3/\text{hr}}$$

$$tr = 10.6 \text{ hr}$$

Basándose en los resultados, cumple con los requisitos por lo tanto, se escoge este aspersor.

Selección de la línea regante.

El número de aspersores (Na) por línea regante se calcula utilizando el

$$Na = \frac{LI - Ea}{Ea} = \frac{200 - 12}{12}$$

Ea = 12 m y LI = 200 m en la ecuación , obteniéndose:

$$Na = 16$$

El número de regantes (NI) que trabajarán simultáneamente se obtiene aplicando la ecuación indicada, para lo cual se utilizan los datos Q = 22 l/s y QI = 5.4 l/s, obteniéndose NI = 4.1, por lo que se redondea a 4.

$$NI = Q/QI = 22\text{l/s}/5.4\text{l/s}$$

$$NI = 4.1$$

Recalculando el gasto de la regante y del aspersor, el nuevo gasto de la regante es de = 5.5 l/s (22/4) y gasto del aspersor será de = 0.34 l/s (5.5/16).

La carga que se puede perder en la línea regante (hfl perm), se calcula introduciendo la carga de operación del aspersor ($H_a = 30$) y considerando una pendiente de 0% en la ecuación. Resultado $h_f \text{ perm} = 6$ metros.

$$H_f \text{ perm.} \leq 0.2H_a = 0.2(30) \pm 0 = 6.0 \text{ m.}$$

Para determinar el diámetro de la regante se calcula despejando esta variable de la ecuación de H-W, como se indica a continuación:

$$D = \left[\frac{h_f l}{1.212^{12} X CSM} \left(\frac{Q}{C} \right)^{-1.852} \frac{100}{200} \right]^{-\frac{1}{4.87}} = \left[\frac{6}{1.212^{12} X 0.38} \left(\frac{5.4}{130} \right)^{-1.852} \frac{100}{200} \right]^{-\frac{1}{4.87}}$$

$$D = 60 \text{ mm} \approx 75 \text{ mm}$$

Nota :

De acuerdo al resultado se escoge el diámetro inmediato superior, el cual es de 3 pulgadas.

La carga requerida en la entrada de la regante, considerando una altura de elevador de 70 cm, se define con la ecuación que se indica:

$$H_{I \text{ en}} = H_a + \frac{3}{4} h_f l + \frac{H_d}{2} + H_e$$

$$H_{I \text{ en}} = 30 + \frac{3}{4}(6) + 0 + 0.7$$

$$H_{I \text{ en}} = 35.2 \text{ m}$$

La tubería de conducción se puede telescopiar con dos diámetros para abaratar costos, el diámetro de la primera parte de la tubería se calcula sustituyendo un Q de = 22 l/s en la ecuación, resultando $D = 118$ mm, si se considera los diámetros comerciales se escogerá de 5 pulgadas. El diámetro de la segunda parte de la tubería se determinara utilizando la misma ecuación con un gasto de 11 L/s, resultando un diámetro de 83 mm por lo tanto se escoge un diámetro comercial de 4 pulgadas.

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}}$$

La pérdida por fricción en una tubería de aluminio que tiene dos diámetros y que además alimenta a 4 líneas regantes que utilizan 5.5 L/s cada una, se calcula de la siguiente forma:

Datos :

Longitud de la tubería del lateral ($L_1 + L_2$) = 650 m

$L_1 = 150 + 250 = 400$ m, $D_1 = 150$ mm

$L_2 = 250$ m, $D_2 = 100$ mm

$Q_1 = 22$ L/s, $Q_2 = 11$ L/s

$C = 130$

SOLUCION :

Primero, se calcula la pérdida por fricción del extremo final de la tubería aplicando la ecuación siguiente:

$$hf_{(L_2, D_2)} = \left[K \left(\frac{Q_2}{C} \right)^{1.852} D^{-4.87} \right] \frac{L_2}{100}$$

$$hf_{(L_2, D_2)} = \left[1.212 * 10^{12} \left(\frac{11}{130} \right)^{1.852} 100^{-4.87} \right] \frac{250}{100}$$

$$hf_{(L_2, D_2)} = 5.7 \text{ m}$$

Segundo, se determina la pérdida por fricción de $L_1 + L_2$ como si toda la tubería fuera de un diámetro D_1 como se indica:

$$hf_{(L_1+L_2, D_1)} = \left[K \left(\frac{Q_1}{C} \right)^{1.852} D_1^{-4.87} \right] \frac{(L_1 + L_2)}{100}$$

$$hf_{(L_1+L_2, D_1)} = \left[K \left(\frac{22}{130} \right)^{1.852} 125^{-4.87} \right] \frac{650}{100}$$

$$hf_{(L_1+L_2, D_1)} = 18 \text{ m}$$

Tercero, se calcula la pérdida por fricción de L_2 como si ésta tuviera un diámetro D_1 , utilizando el gasto Q_2 , ($K = 1.212 * 10^{12}$)

$$hf_{(L_2, D_1)} = 1.9 \text{ m}$$

Cuarto, se determina la pérdida por fricción de L_1 con diámetro D_1 y Q_1 , restando el resultado de la pérdida de fricción de L_2, D_1 al valor de la longitud L_1+L_2, D_1 .

$$H_f(L_1, D_1) = h_f(L_1+L_2, D_1) - h_f(L_2, D_1)$$

$$h_f(L_1, D_1) = 18 - 1.9$$

$$h_f(L_1, D_1) = 16.1 \text{ m.}$$

Quinto, el resultado final se obtiene sumando la pérdida de L_2 y D_2 con la de L_1 y D_1 como se indica en seguida.

$$H_f \text{ tot} = h_f(L_1+L_2, D_1) + h_f(L_2, D_1) + h_f(L_2, D_2)$$

$$h_f \text{ tot} = h_f(L_1, D_1) + h_f(L_2, D_2)$$

$$h_f \text{ tot} = 16.1 + 5.7 = 21.8 \text{ m.}$$

La pérdida por fricción de la tubería telescopiada es de 21.8 metros.

La carga que requiere la bomba es de :

$$H = H_p + H_l + H_{ac}$$

$$H = 21.8 \text{ m} + 35.2 \text{ m} + 2 \text{ m}$$

$$H = 59 \text{ m}$$

Nota : Se considera que se pierden 2 m en las válvulas y conexiones.

El número de posiciones regadas en un día se determina considerando lo siguiente:

$$\text{Posiciones por día} = 4 \text{ laterales} * 2 \text{ posiciones /día}$$

$$\text{Posiciones por día} = 8$$

El número de días requeridos para regar las 27 posiciones es igual a:

$$\text{Días} = \frac{27 \text{ posiciones}}{8 \text{ posiciones/día}} = 3.4 \text{ días}$$

Basándose en los resultados se tiene que en cuatro días se riega aproximadamente todo el terreno, este período es menor al intervalo de riego, por lo que se acepta el diseño.

Cuadro 37. Lista de Materiales requeridos en el sistema Riego Portátil

Concepto.	Cantidad
Tubería de aluminio de 3 pulgadas (tramos de 6 m)	133
Aspersores modelo X	64
Codo de aluminio 90° de 5 pulgadas	1
Válvulas con codo de aluminio de 90°, 5 pulgadas x 3 pulgadas	2
Válvulas con codo de aluminio de 90° de 4 pulgadas x 3 pulgadas	2
Tubería de aluminio de 5 pulgadas (tramos de 6 m)	67
Tubería de aluminio de 4 pulgadas (tramos de 6 m)	42
Reductor de aluminio 5 a 4 pulgadas	1
Tapón de aluminio 3 pulgadas	4
Tapón de aluminio 4 pulgadas	1

CAÑÓN VIAJERO.

Este sistema de riego se adapta bien a terrenos de topografía ondulada y en zonas húmedas donde el riego es suplementario. Los aspersores aplican por lo menos 6.3 l/s, siendo normal aplicar 32 l/s con una presión de operación de 56 m, los aspersores tienen un diámetro de boquilla igual o mayor de 16 mm (5/8 in) y giran debido al principio de impulso momento, mediante el cual se motiva un torque por la reacción que produce el agua al salir de la boquilla y que al impactarse sobre el brazo giratorio del aspersor lo mueve hacia atrás ; un resorte lo regresa a su posición original.

Los sistemas de cañón viajero están compuestos por la planta de bombeo, tubería de conducción, manguera flexible y aspersor, estos se clasifican en sistemas portátiles y de movimiento continuo, Los sistemas portátiles generalmente se encuentran sobre una base con ruedas y se mueven por medio del tractor, los cañones de movimiento continuo tienen una manguera flexible de 75 a 130 mm de diámetro con una longitud de 400 m, este puede ser autopropulsados y guiados por un cable que indica el camino seguir, o bien, pueden ser tirados por una manguera flexible que se enrolla en un carrete.

Trazo del Sistema de Riego.

Para el trazo de este tipo de sistema se deben considerar los siguientes puntos :

- a) El sistema se debe diseñar para realizar uno o dos cambios por día como máximo, dejando 1 hora para hacer el cambio de posición.
- b) Debido a que los márgenes del terreno reciben menos agua que el resto del terreno (aproximadamente 50% menos), el cañón se debe dejar un poco más de tiempo en esta posición, pero tratando de minimizar el desperdicio,

generalmente se recomienda comenzar y terminar el riego cuando las 2/3 partes del radio de mojado del aspersor estén dentro del margen del terreno.

- c) Los cañones deben transitar en el mismo sentido que las hileras de los cultivos ; se recomienda regar perpendicularmente el terreno con pendientes empinadas.
- d) Debido a que las velocidades de aplicación de estos sistemas son altas, se recomienda que en suelos de permeabilidad baja se aumente el número de cañones y se reduzca el gasto por cañón. Los aspersores de los cañones pueden tener velocidades de aplicación de 7.5 a 15 mm/h para gastos de 20 a 60 l/s.
- e) Fijar el ancho del espaciamiento entre franjas de riego, considerando un pequeño traslape entre los radios de mojado de los aspersores (10% del radio).

Área factible de regar.

La capacidad del sistema de riego depende del gasto que se disponga en el pozo o la toma del canal, para poder calcular la superficie regable.

Selección del aspersor.

Las características que se deben considerar para seleccionar el aspersor son : presión de operación, ángulo de trayectoria del chorro y tamaño de la boquilla del aspersor, estas características dependen de la infiltración del suelo, del espaciamiento entre posiciones de riego, de las condiciones del viento y del cultivo.

Ángulo de Inclinación del Aspersor.

El ángulo de inclinación del aspersor varía entre 18 y 32° ; para seleccionarlo se debe considerar la inclinación óptima que permita aumentar la cobertura de mojado y disminuir el impacto de las gotas sobre el suelo. En el caso de que se presenten vientos con velocidades mayores a 16 km/h, se recomienda utilizar ángulos pequeños para producir una buena cobertura de mojado. Las inclinaciones pequeñas pueden afectar a los cultivos robustos y crear erosión en suelos desnudos, cuando la velocidad media del viento varía entre 2.7 y 4.2 m/s, se recomienda utilizar aspersores con ángulos de trayectoria entre 23 y 25°, los gastos y diámetros típicos de un aspersor con un ángulo de 24°, se muestran en el cuadro 38.

Cuadro 38. Gastos Típicos y Diámetros de Mojado para Cañones con un Angulo de 24°, Operando sin Viento

Presión del Aspersor	Diámetro de la Boquilla, mm									
	20.3		25.4		30.4		35.6		40.6	
Gasto y Diámetro del Aspersor										
m.	l/s	m	l/s	m	l/s	m	l/s	m	l/s	m
42.0	9.0	86.9	14.2	99.1	20.8	111.3	--	--	--	--
49.0	9.8	91.4	18.9	103.6	22.4	115.8	30.3	132.6	--	--
56.0	10.4	94.5	19.6	108.2	24.0	120.4	32.5	138.7	42.6	146.3
63.0	11.0	97.5	20.2	111.3	25.6	125.0	34.4	143.3	45.1	150.9
70.0	11.07	100.6	20.8	114.3	26.8	125.0	36.3	146.3	47.6	155.4
77.0	12.3	103.6	21.5	117.3	28.1	131.1	38.2	149.4	49.8	158.5
84.0	12.9	106.7	22.1	120.4	29.3	134.1	39.8	152.4	52.1	163.1

Boquilla del Aspersor.

Existen dos tipos de boquilla, la telescopiada y la de orificio, la boquilla telescopiada produce un chorro compacto y cubre un mayor diámetro de mojado, esto permite un espaciado grande entre franjas de riego, la boquilla de orificio produce gotas pequeñas, siendo para el riego de cultivos frágiles.

Para seleccionar el aspersor, es importante verificar que la velocidad de aplicación del aspersor sea menor que la máxima velocidad de aplicación, para lo cual se aplica la siguiente ecuación:

$$V_a = \frac{q_a}{\pi(re)^2} \frac{360}{\omega c}$$

Donde :

- V_a Velocidad media de aplicación del aspersor, [L/T] ;
 q_a Gasto del aspersor, [L³/T] ;
 re Radio efectivo de mojado del aspersor, [L], $re = 0.9$ *radio proporcionado por el fabricante ;
 ωc Sector del círculo que recibe el agua, [grados].

Esta ecuación utiliza el 90 % del radio para considerar el 10% de traslape entre franjas regadas, debido a que estos sistemas producen gotas de agua más grandes, la velocidad máxima de aplicación se obtiene multiplicando la velocidad de aplicación proporcionada por el factor de 0.75.

La velocidad del cañón viajero (V_c) se calcula mediante la ecuación:

$$V_c = \frac{q_a}{E_r * L_b}$$

Donde :

E_r = Espaciamiento entre líneas de recorrido del cañón [L].

El tiempo de recorrido del cañón (t_r) se determina con la siguiente ecuación:

$$t_r = \frac{L_r}{V_c}$$

Donde :

L_r = Longitud recorrida por el cañón [L]

V_c = Velocidad del cañón viajero [LT^{-1}]

Selección de la Manguera.

Debido a que la fuerza requerida para arrastrar la manguera es proporcional al cuadrado de su diámetro, normalmente se utilizan mangueras pequeñas que conduzcan gastos grandes. Los diámetros recomendados para cada gasto y sus pérdidas por fricción son proporcionados en el cuadro 39.

Espaciamiento entre Líneas de Recorridos del Cañón.

El espaciamiento entre recorridos determina la uniformidad de aplicación del cañón, así mismo el espaciamiento entre aspersores depende de la velocidad del viento y del tipo de aspersor seleccionado. Para aspersores con ángulos de trayectoria entre 23 y 25°, se recomienda multiplicar el diámetro nominal de mojado del aspersor por el factor proporcionado.

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO CON CAÑÓN VIAJERO.

Para ejemplificar la metodología de diseño de un sistema de riego de cañón viajero considere que se cuenta con campo de 32 ha, con dimensiones de 800 m de longitud y 400 m de ancho, además se tiene la siguiente información :

Pozo situado en la margen superior izquierda del terreno.

Cultivo;	Caña de azúcar.	
Gasto de la bomba	Q	35 l/s
Profundidad de raíces.	Pr	80 cm
Suelo (70% arena y 20% arcilla)		Franco Arenoso
Pendiente en el sentido de 400 m.	S	5%
Fracción del agua disponible del abatimiento.	F	0.5
Evapotranspiración potencial diaria máxima	(Etd)	6 mm/día
Eficiencia de aplicación	(Ea)	70%

La bomba debe trabajar solamente 23 horas por día ($H = 23/24 = 0.96$).

Determine las variables mas importantes del sistema como son; el trazo de riego, gasto, número y tipo de aspersor y la presión requerida a la entrada de la manguera.

Cuadro 39. Selección de la Manguera del Cañón Viajero y Perdidas por Fricción Estimadas en m/100m

Gasto l/s	Diámetro Nominal de la Manguera, mm				
	63.5	76.2	101.6	114.3	127
Perdidas por Fricción m/100m					
6.3	3.7				
9.5	7.9	3.2			
12.6	12.9	5.5			
15.8		8.3	2.2		
18.9		11.8	3.1	1.4	
25.2			5.3	2.9	
31.5			8.1	4.8	2.5
37.9			11.3	6.1	3.7
44.2				8.2	4.9
50.5				10.5	6.2
68.8					7.9
63.1					9.7

Cuadro 40. Factores de Ajuste del Diámetro de Mojado para Diferente Velocidades

Velocidad de Viento m/s	+de 4.5	2.2-4.5	0.9-2.2	0.0-0.9
Factor	0.50-0.55	0.55-0.65	65-87	0.80

SOLUCION.

Lámina de Riego (Lr) se obtiene sustituyendo

$$CC = 0.185$$

$$PMP = 0.12,$$

$$f = 0.5,$$

Pr = 80 en la ecuación dada,

Resultando Lr = 2.6 cm.

$$Lr = (0.185 - 0.12) \times 0.5 \times 80 \text{ cm} = 2.6 \text{ cm}.$$

Intervalo de Riego (IR) este factor se obtiene dividiendo la lámina de riego ($L_r = 2.6$ cm) entre la evapotranspiración de diseño ($E_{td} = 5$ mm/día), resultando $IR = 5$ días.

$$IR = L_r/E_{td} = 2.6\text{cm.} / 5\text{mm/dia.} = 5 \text{ días}$$

Lámina Bruta de Riego (Lb) se obtiene dividiendo la lámina de riego ($L_r = 2.6$ cm) entre la eficiencia de riego ($E_a = 0.70$), dando como resultado $L_b = 3.71$ centímetros.

$$L_b = L_r/E_a = 2.6 \text{ cm.} / 0.70$$

$$L_b = 3.71 \text{ cm.}$$

Gasto Requerido en la Bomba se obtiene sustituyendo los valores de $A = 32$ ha, $L_b = 3.25$ cm, $IR = 4$ días y $H = 0.96$, obteniéndose $Q = 31.3$ L/s. Debido a que el gasto requerido es menor al disponible, sí es factible regar las 32 hectáreas.

Selección del Aspersor.

Se selecciona un solo cañón para regar las 32 ha, además consideramos que requiere utilizar todo el gasto por el cañón (35) l/s. El aspersor seleccionado debe dar un gasto de 35 l/s, basándose en estas características el proveedor proporcionara un aspersor que tiene diámetro de mojado de 144 m, y opera con una carga de 65 metros.

Velocidad de Aplicación del Aspersor.

Con los datos de gasto ($Q = 35$ l/s), radio de mojado ($r_m = 72$ m) y sector del círculo de mojado ($\omega_c = 270$), de acuerdo con la ecuación, la velocidad de aplicación del aspersor es igual a 10.315 mm/hora.

$$V_a = \frac{q a 360}{\pi (r_e)^2 \omega_c} = \frac{126000 \times 360}{\pi (72^2) 270} = 10.315 \text{ mm / h}$$

Para un suelo franco arenoso y una pendiente del 5%, se verifica en el cuadro 32 la velocidad máxima de aplicación es de 25 mm/h. La velocidad máxima de aplicación se disminuye en un 25%, resultando en 18.75 mm/h. Esta velocidad máxima de aplicación es mayor que la calculada en (10.315 mm/h), por lo tanto el aspersor seleccionado es adecuado.

Cuadro 41. Espaciamientos entre Líneas de Recorridos del Cañón

Número de Recorridos	Espaciamiento entre Recorridos (m)
9	89
10	80
11	73
12	66

Para velocidades de viento de 4 m/s se recomienda traslapar los diámetros de mojado, multiplicando el diámetro nominal (D_m) proporcionado por el fabricante por el factor de 0.6. El espaciamiento entre recorridos (E_R), que resulta de los traslapes de los aspersores, es de 86.4 m. Si el ancho del terreno es de 800 m se podrían realizar 9, 10, 11 ó 12 recorridos.

$$E_R = D_m \times 0.6 = 86.4 \text{ m.}$$

Resulta económico y práctico realizar 9 recorridos, debido a que el espaciamiento de 89 m se aproxima al calculado de 86.4 metros.

$$N_r = L/E_R = 800\text{m.}/86.4\text{m.} = 9.25 \approx 9$$

Donde:

N_r = Es el número de recorrido

Velocidad del Cañón (V_c).

La velocidad del cañón viajero (V_c) se determina de acuerdo con la ecuación para el tiempo correspondiente incluyendo la información de:

$$V_c = \frac{q_a}{E_r X L b} = \frac{2.1 \text{ m}^3 / \text{s}}{89 \text{ m.} \times 0.0371 \text{ m.}} = 0.635 \text{ m} / \text{min.}$$

$$\begin{aligned} q_a &= 0.035 \text{ m}^3/\text{s}, \\ E_r &= 89 \text{ m} \\ L_b &= 0.0325 \text{ m}, \\ T_r &= 0.635 \text{ m}/\text{minuto.} \end{aligned}$$

El tiempo requerido para recorrer $L = 200$ m se calcula sustituyendo la longitud de 200 m y V_c de 0.635 m/min en la ecuación resultando $t_r = 274$ min (4 h 34 min). Si se utiliza 1 h 26 min para cambiar de posición, el riego de todo el terreno se podría completar en aproximadamente 4.5 días, analizando este tiempo se observa que es menor al intervalo de riego por lo tanto se acepta este diseño.

$$T_r = L/V_c = 200\text{m.}/0.635\text{m.}\text{min}^{-1}. = 274\text{min.}$$

Carga Requerida a la Entrada de la Manguera.

La pérdida de carga por fricción en 100 m de manguera para un gasto de 35 l/s, y un diámetro de 114.3 mm se obtiene al interpolar linealmente los valores de 4.8 y 6.1, del cuadro 39 resultando el valor de 5.5 si se consideran los 200 m. de manguera la hf es igual a 11 metros.

Diámetro y Carga Requerida en la Tubería Principal.

El diámetro de la tubería de conducción se determina con la ecuación resultando un diámetro de 6 pulgadas.

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}} = \sqrt{\frac{4(0.035 \text{ m}^3 / \text{Seg.})}{\pi(2 \text{ m} / \text{Seg})}} = 0.1492 \text{ m}$$

Las pérdidas por fricción para una tubería de PVC de 6 pulgadas se calculan de la siguiente manera :

$$hf = 1.212(10)^{12} \left[\left(\frac{35}{150} \right)^{1.852} * (150)^{-4.87} * \left(\frac{956.5}{100} \right) \right]$$

$$hf = 19.8 \text{ m}$$

Cuadro 42. Pérdida de Carga de Todos los Componentes de Sistema

Componentes	Presión, m
Aspersor (operación)	63
Manguera (fricción)	11
Vehículo del cañón *	6
Elevador (altura) *	5
Total (en la manguera)	85
Tubería de conducción	19.8
Carga total	104.8

*Proporcionados por el fabricante.

Cuadro 43. Lista de Partes Requeridas para Instalar el Sistema de Riego de Cañón Viajero

Concepto	Número
Hidratante de 6 pulgadas	9
Válvula de acoplamiento rápido	1
Cañón de 35 L/s	1
tubería de PVC de 6 pulgadas de diámetro, para 200 PSI (140m)	956.5

PIVOTE CENTRAL.

Este sistema de riego consiste en una tubería regante que se mueve en círculo alrededor de un punto fijo que lo alimenta de agua. La tubería es soportada por diversas torres metálicas que son movida por ruedas autopropulsadas mediante un motor eléctrico o hidráulico. Las torres metálicas están espaciadas de 30 a 50 m ; y el diámetro de la línea regante varía de 100 a 250 mm. Las longitudes de las regantes son variables, pero debido a que el costo del sistema es proporcional a su longitud, se recomienda que éstas sean mayores de 400 m. cuando la tubería regante es muy larga (mayor de 530 m), se producen altas velocidades de aplicación en las orillas del terreno, provocando escurrimientos en varios tipos de suelos.

La línea regante se alinea por medio de un sistema de control que regula la velocidad de las torre, si la alineación falla, debido al atascamiento u obstrucción de un rueda, el sistema suspende su funcionamiento.

Trazo del Sistema de riego.

Este sistema riega principalmente áreas circulares, si embargo también puede regar áreas cuadradas si se le integra un equipo especial para regar las esquinas, pero esto eleva considerablemente su costo. Cuando se riega un terreno cuadrado con un pivote de 400 m de longitud, se podrán regar 50 ha, quedando 14 sin regar aproximadamente un 20 %.

Capacidad del Sistema de Riego.

El área factible que se puede regar con un gasto dado, se determina aplicando la siguiente ecuación:

$$A = \frac{K Q}{Etd/Ea}$$

Donde :

Etd	Evapotranspiración pico o de diseño, (mm/día) ;
Q	Gasto suministrado, (l/s) ;
A	Superficie factible de regarse, (ha) ;
K	Factor de homogenización de unidades (K = 8.64) ;
Ea	Eficiencia de aplicación del sistema.

Velocidad de Aplicación del Aspersor.

El problema más común que se presenta en un pivote central es el escurrimiento, por lo tanto es importante que la velocidad de aplicación del aspersor sea menor a la velocidad de infiltración del suelo. La velocidad de aplicación varía con respecto a la distancia del punto pivote, cerca de éste la velocidad de aplicación es pequeña y el tiempo de aplicación aumenta por lo tanto en un punto mas distante la velocidad de aplicación aumenta con el radio de la regante, mientras que el tiempo de aplicación disminuye. La mayor velocidad de aplicación se tendrá en los últimos aspersores ubicados en la orilla de la regante, por lo que en el diseño se requiere que la velocidad de aplicación de este último aspersor no exceda la capacidad de infiltración del suelo.

Considerando un patrón de distribución de agua de forma elíptica, la velocidad de aplicación del último aspersor será igual a :

$$V_a = \frac{4}{\pi} \frac{Q}{R t r_m}$$

Donde :

V_a	Velocidad de aplicación del último aspersor, [$L T^{-1}$] ;
Q	Gasto que entra al pivote, [$L^3 T^{-1}$] ;
r_m	Radio de mojado del aspersor, [L] ;
Rt	Distancia del pivote a la última torre, [L].

A partir de esta ecuación se observa que la velocidad de aplicación del aspersor depende del tamaño de sus boquillas, de su presión, del espaciamiento entre aspersores, de la longitud del lateral y del tipo de aspersor. Cuando la velocidad de aplicación del aspersor es mayor a la velocidad de infiltración, se recomienda : reducir la longitud del lateral (capacidad del sistema de riego), y seleccionar un aspersor que tenga el mismo gasto y que produzca un mayor radio de mojado, o bien, aplicar una lámina mas pequeña.

La lámina de riego depende del tiempo que tarde el pivote en dar una revolución completa por lo tanto es necesario determinar la ecuación siguiente:

$$t_r = \frac{2 \pi R t}{V_t}$$

Donde :

t_r	Tiempo en horas que requiere el pivote central para completar una revolución o vuelta completa [T] ;
RT	Distancia del pivote a la última torres, [L] ;
v_t	Velocidad de la última torre, m/s ;
2Π	Velocidad angular de la última torres [$L T^{-1}$].

Por ejemplo si el pivote tarda 3 días en dar una vuelta, la velocidad mayor de la última torre será igual a:

$$2\pi/3 \text{ días} = 8.73 \cdot 10^{-2} \text{ rad/hora.}$$

Una vez calculado el tiempo la lámina bruta promedio aplicado en cada revolución (L_b) se calcula con la siguiente ecuación :

$$L_b = \frac{E_{td} \cdot tr}{24 \cdot E_a}$$

Donde:

24 Factor de homogenización de unidades,

Selección del Aspersor.

Las principales variable que se consideran para seleccionar el paquete de aspersores son :

- Espaciamiento entre aspersores
- Tipo de aspersor.

Los espaciamiento más utilizados son :

- a) Espaciamiento uniforme. Los aspersores se espacian entre 9 y 12 m y su gasto se incrementa en proporción directa con la distancia de éste al punto pivote, el diámetro de mojado también aumenta, pero no en proporción a su descarga.
- b) Espaciamiento semiuniforme, en este caso la línea regante es dividida en tres segmentos, para utilizar diferentes. Espaciamientos.
- c) Descarga uniforme de los aspersores, cuando se tiene este el espaciamiento es de 12 m cerca del pivote y va decreciendo a 1.5 m en las orillas, el espaciamiento del aspersor está en proporción inversa a la distancia radial del pivote, por lo tanto el espaciamiento por la distancia radial es constante.

De este tipo de espaciamientos el uniforme es el más utilizado por su facilidad de fabricación e instalación, pero requiere de aspersores más grandes, para evitar problemas con aspersores grandes, frecuentemente se utiliza el espaciamiento de los aspersores a 12 m en la primera parte, a 6 m en la segunda y de 3 m al final.

La estrategia general para seleccionar el aspersor y el tamaño de sus boquillas es :

- Determinar la distribución del gasto, considerando el gasto requerido por cada aspersor para lograr una buena uniformidad.
- Determinar la carga mínima de operación del aspersor.
- Determinar la distribución de presión o cargas a lo largo de la línea regante.
- Con la presión y el gasto seleccionar el diámetro de la boquilla.

Determinación de la Distribución del Gasto.

El gasto por aspersor se obtiene mediante la siguiente ecuación :

$$\frac{q_{ai}}{Q} = \frac{R_i(R_i + 1 - R_i - 1)}{R_t^2}$$

Donde :

q_{ai}	Gasto del aspersor i, l/s
R_i	Distancia del aspersor i, m
R_{i+1}	Distancia del aspersor i+1, m
R_{i-1}	Distancia del aspersor i-1, m

Esta ecuación se utiliza para calcular el gasto del aspersor en cada posición del pivote central.

Distribución de Presión.

Para determinar la presión de operación de cada aspersor se emplea la ecuación propuesta por Chu y Moe (1972). Que indica como sigue:

$$\frac{h_r - h_{Rt}}{h_0 - h_{Rt}} = 1 - \frac{15}{8} \left[\frac{R_i}{R_t} - \frac{2}{3} \left(\frac{R_i}{R_t} \right)^3 + \frac{1}{5} \left(\frac{R_i}{R_t} \right)^5 \right]$$

Donde :

$h_0 - h_r = h_{fm} =$	Pérdida de carga por fricción en la regante sin considerar las salidas, [L] ;
h_0	Carga en el punto pivote, [L],
h_R	Carga o presión al final de la regante, [L] ;
h_r	Carga o presión en el punto r, [L] ;
R_t	Longitud del sistema, [L].

La pérdida de carga por fricción en una regante sin salidas se calcula con la siguiente fórmula :

$$hf_m = K \left[\left(\frac{Q}{C} \right)^{1.852} D^{-4.87} \frac{L}{100} \right]$$

Donde :

K	1.212*10 ¹² ;
Q	Gasto del lateral, [l/s] ;
C	Coefficiente de fricción que depende del material [sin dimensiones] ;
D	Diámetro del lateral [mm] ;
L	Longitud del lateral [metros].

La pérdida por fricción real en la tubería se calcula multiplicando la pérdida por fricción de la tubería considerando que ésta no tuviera salidas y multiplicarlo por el factor 0.543.

$$Hf_L = 0.543 (hf_m)$$

Donde :

hf_L Pérdida por fricción real en el lateral considerando salidas.

Si al pivote se le integra un cañón al final, la pérdida por fricción en el lateral será igual a :

$$hf_L = 0.543 hf_m \left(\frac{1}{1 - \frac{qc}{Q}} \right)^{1/2}$$

Donde :

qc	Gasto del cañón, (l/s) ;
Q	Gasto total del sistema considerando el cañón, (l/s).

Diámetro de la Tubería Lateral.

El diámetro de la tubería lateral del pivote central, se selecciona utilizando como regla de que las pérdidas de carga por fricción en el lateral no deben exceder el 20% de la carga de operación del aspersor, para evitar que las variaciones del gasto entre el primer y el último aspersor no sobrepasen el 10%, considerando esta regla, las perdidas de carga serán:

$$H_{fl} = 0.2 \text{ (Ha)}$$

Donde:

Ha = Es la carga de operación del aspersor. (m)

Por lo tanto el diámetro resultante será igual a:

$$D = \left[\frac{h_{fl} 100}{0.543 K L} \left(\frac{Q}{C} \right)^{-1.852} \right]^{1/-4.87}$$

Carga Requerida a la Entrada de la Tubería Lateral.

La carga que se requiere en el lateral, será igual a la suma de la pérdida de carga por fricción en el lateral más la carga de operación del aspersor, si el pivote cuenta con un cañón en la parte final, a la pérdida por fricción del lateral se le suma la máxima carga de operación, ya sea la del aspersor o la del cañón.

Ejemplo.

Realizar el diseño de un sistema de riego de pivote central para un terreno cuadrado de 64 ha, el terreno se va plantar con maíz y cuenta con la siguiente información; suelo franco arenoso (70% arena, 20% arcilla) con una pendiente de 2%. Calcula el gasto, la presión y el tamaño de la boquilla del aspersor que se localiza a una distancia de 150 m. del punto pivote además se cuenta con los siguientes datos.

Dimensiones del terreno :		800 * 800 m
Evapotranspiración de diseño :	Etd	7 mm/día
Clima		Caliente
Eficiencia de aplicación :	Ea	0.7
Velocidad de la última torre a 388 m.	Vt	2m/min

Si el pivote se coloca en el centro del terreno, se tendrán las siguientes características el radio del pivote es de 400 m y 50.3 ha son regadas por el pivote ($\pi * (400)^2 = 50.3$ hectáreas).

El gasto requerido por el pivote se determina con la ecuación asignada, sustituyendo los valores A = 50.3 ha, Etd = 7 mm/día y Ea = 0.7, resultando Q = 58.22 L/segundos.

$$Q = \frac{A X E t d}{8.64 E a} = \frac{50.3 X 7}{8.64 X 0.7} = 58.217 l / s$$

El tiempo mínimo requerido para dar una revolución completa, se calcula con la fórmula, resultando $t_r = 20.3$ h por revolución.

$$t_r = \frac{2\pi(Rt)}{Vt} = \frac{2\pi(388m)}{2m / min.} = 1218.93min.$$

La lámina de riego que se aplica en una revolución se calcula sustituyendo la máxima evapotranspiración potencial diaria : $E_{td} = 7$ mm/día ; la eficiencia de aplicación : $E_a = 0.7$; y el tiempo de 20.9 hr por revolución, en la fórmula, resultando $L_b = 8.70$ mm/revolución.

$$L_b = \frac{\frac{E_{td}}{24} X t_r}{E_a} = \frac{\frac{7}{24} X 20.9}{0.7} = 8.70mm / revolucion$$

El paquete de aspersores del pivote se selecciona considerando las siguientes características :

Gasto Q	58.22 l/s
Material de aluminio	(C = 120)
Longitud del pivote	402 m
Carga al final del pivote (h_{Rt})	45.5 m (65 PSI)
Diámetro del lateral	203.2 mm
Espaciamiento entre aspersores	6 m

El procedimiento para seleccionar el aspersor que se ubica a una distancia de $R_i = 150$ m del pivote ,y un espaciamiento entre aspersores de $R_l = 6$ m. además de la distancia total del pivote $R_t = 402$ m, es el siguiente :

a) Gasto del aspersor

$$q_{ai} = \frac{R_i}{R_t^2} (R_t + 1 - R_i - 1) Q$$

$$q_{ai} = \frac{150}{(402)^2} * (402 - 144) * 58.22$$

$$q_{ai} = 0.648 \text{ lps.}$$

b) Presión del aspersor ubicado a 150 m.

$$\frac{h_r - h_{Rt}}{h_0 - h_{hRt}} = hfm$$

Donde:

H_{fm} = Son las pérdidas de carga por fricción en la regante sin considerar las salidas

$$\frac{h_r - h_R}{h_0 - h_{Rt}} = 1 - \frac{15}{8} \left[\frac{R_i}{R_t} - \frac{2}{3} \left(\frac{R_i}{R_t} \right)^3 + \frac{1}{5} \left(\frac{R_i}{R_t} \right)^5 \right]$$

$$= 1 - \frac{15}{8} \left[\frac{150}{402} - \frac{2}{3} \left(\frac{150}{402} \right)^3 + \frac{1}{5} \left(\frac{150}{402} \right)^5 \right] = 0.3626$$

Para obtener las pérdida por fricción en todo el lateral antes se determina el diámetro utiliza la siguiente ecuación.

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi(V)}} = \sqrt{\frac{4(0.05822)}{\pi(2m/s)}} = 0.19252m.$$

Donde:

V = Es la velocidad propuesta

Por lo tanto el D = 203.2 mm.

Y así h_{fl} o h₀ - h_R obtiene.

$$h_{fl} = 1.212^{12} \left[\left(\frac{Q}{C} \right)^{1.852} D^{-4.87} \frac{L}{100} \right]$$

$$h_{fl} = 1.212^{12} \left[\left(\frac{58.22}{120} \right)^{1.852} (203.2)^{-4.87} \frac{402}{100} \right]$$

La pérdida por fricción en el lateral sin salidas es,
h_{fl} = 7.35 m.

h_{fl} con salidas = 0.543 (7.35) = 3.99 m.

La carga requerida en el aspersor ubicado a 150 m del pivote.

$$h_{fa} = 0.3626 (h_0 - h_R) + h_{Rt}$$

$$= 0.3626(3.99\text{m}) + 45.5 \text{ m}$$

$$= 46.94 \text{ m.}$$

- c) El diámetro de la boquilla del aspersor se selecciona del catálogo del fabricante o utilizando la ecuación, con base en el gasto (10.129 GPM) y en la presión de operación del aspersor (69.85 PSI), obteniéndose un diámetro de boquilla de 5.1 milímetros.

$$\phi_b = \sqrt{\frac{qa}{28.51\sqrt{P}}}$$

$$\phi_b = \sqrt{\frac{10.129 \text{ GPM}}{28.51\sqrt{69.85 \text{ PSI}}}}$$

$$\Phi_b = 5.1\text{mm.}$$

La velocidad de aplicación del último aspersor se calcula sustituyendo el gasto : $Q = 58.22 \text{ L/s}$; la distancia del pivote a la última torre : $Rt = 388 \text{ m}$; y el radio de mojado del aspersor : $rm = 20 \text{ m}$, en la ecuación, resultando $Va = 34.4 \text{ mm/hora}$.

$$Va = \frac{4Q}{\pi(Rt)rm} = \frac{4(209592l / h)}{\pi(388)20} = 34.4\text{mm} / h$$

BIBLIOGRAFIA

1972. Aforo del Agua de Riego. Colección de Ingeniería de Suelos. Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los E.U.A. DIANA.
- Ametek, Inc. 1985 And Our Line To your Lineas. McCometer División 3255 W. Stetson Ave. Hemet. Ca. 92343 (714)6526811 Irrigation Journal.
- Chow YenTe, 1959. Open Chanel Hidraulics. Civil Engineering Series Mc Graw Hill, 70-81.
- Cridale, et al. 1956. Methods for Evaluating Irrigation Systems, Handbook 82 4.5 D. A. S.C.S.
- Giles, R.V. 1979. Mecánica de los Fluidos e Hidráulica. Traducción de la 2ª. Edición en Inglés; Fluid Mechanics and Hydraulics, por Jaime Moneva. (Compendios Shaum) Mac Graw Hill, México 133-155.
- Hansen, I. 1975. Principios y Aplicaciones del Riego 2ª Edición. Traducción de la 3ª Ed. En Inglés, Irrigation Principles and Practices. Por Alberto García P. Barcelona, España; 100-143
- Hidalgo, A. G., 1971. Métodos Modernos de Riego por Superficie. Editorial Aguilar.
- Industry Index. 1986. Venturu Meter with Flow Totalizer, Colorado, U.S.A. Irrigation Age a Webb Publication, December 1985 20(4):21.
- King, H.W. y Brater E.F., 1962. Manual de Hidráulica, Traducción Inglés. Handbook of Hidraulics, por Santiago Alonso UTEHA. 81-96 P.
- King, H.W. Wilser, CH.O. y Woodburn, J.G. 1980. Hidráulica Traducción de la 5ª. Edición Original en Inglés Hydraulics, por Agustín Cotin Saenz. Editorial Trillas, México 107, 113, 121, 137, 150, 167.

- Marr, J.C. 1952. The Bonder Method of irrigation. Universidad de California Circular 408.
- Mazzel Inyector Corporation, 1985. Trouble-free Inyection of fertilizers Into Irrigation Systems. Bakorsfield, California 93-307. Irrigation Journal. Jan/Feb. 1985.
- Pair. C.H. 1975. Sprinkler Irrigation. Fourth Edition. The Irrigation Association. 398.403.
- Scott, W.H. and Houston C.E. 1959. Measuring Irrigation Water California Agricultural Experiment Satiton Extension Service. División of Agricultural Science University of California Circular 473: 1-22.
- Secretaría de Recursos Hidráulicos. Tabla de Velocidades para Molinete Furley 622. Dirección de Hidrología. Departamento de Hidrometría. TGJN. 6219-67 G.C. 4091.
- Viejo Zubicaray, M.- 1983. Bombas. Teoría, Diseño y Aplicaciones. LIMUSA México. 201-207.
- Zimmerman. J.D. 1974. El Riego, Segunda Edición en Español. CECSA.