

Método Fácil de Diseño de Riego por Goteo

MEFADERG



ING. JUAN LEONARDO CHOW

SEJICSA

Índice

Contenido

Presentación manual.....	3
I. Introducción	1
II. Objetivo.....	2
III. Sección 1: Levantamiento de datos generales.....	3
A. Objetivo	3
B. Entrevistas.....	3
C. Gira de Campo.	3
1. Área de la parcela, Paso No1.....	3
2. Tipo de suelo textura, Paso No4.	4
3. Aforo de la fuente, Paso No 8.	4
D. Análisis de datos tomados de entrevista y en campo.....	6
IV. Sección 2 Cálculo de requerimientos de riego	12
A. Objetivo	12
B. Requerimientos de riego del cultivo.....	12
1. Evapotranspiración del cultivo (ETc).....	12
2. Evapotranspiración de gotero (ETg).....	13
3. Lámina de riego (Lr).	13
4. Lámina Neta de Riego (Ln).	14
5. Lámina bruta de riego (Lb).	14
6. Intensidad de la aplicación (Ia).	15
7. Tiempo de Riego (T).	15
8. Área del sector de riego (A).....	15
9. Proyectos grandes con abundantes recursos hídricos.....	16
10. Pequeñas áreas de riego con recursos hídricos limitados.....	17
11. Volumen en el sector de riego.	17
12. Caudal del proyecto.	18
V. Sección 3: Diseño hidráulico de la tubería en la parcela.....	20
A. Objetivos.....	20
B. Diseño de las tuberías.....	20
1. F-3-1: Generales	20
2. F-3-2: Diseño del lateral de riego.	21
3. F-3-3: Diseño de la tubería de distribución PVC.	24
4. F-3-4: Diseño de la tubería de conducción en PVC.	28
5. F-3-5: Pérdidas en el cabezal.....	30
6. F-3-6: Altura manométrica total.	32
7. F-3-7 Selección de la bomba.....	33

Presentación manual

MEFADEG, es un método que se desarrolló para satisfacer las necesidades de diseño de sistemas de riego por goteo con personal técnico de nivel medio, productores e incluso ingenieros no especialistas en riego.

Este método comenzó su desarrollo, tomando en cuenta el trabajo realizado por el Ing. Luis Calvo, quien hizo un manual riego, que integraba para su mejor comprensión y estudio una serie de diapositiva bien elaborados. Lo anterior fue auspiciado por los Servicios Técnicos para el Desarrollo Rural (SETEDER) financiado por CATIE/FIDA.

El mencionado manual fue un instrumento para capacitar a ingenieros y estudiantes de agronomía, posteriormente en el 2003, como una iniciativa de Dr. Raúl Moreno, el mismo fue simplificado y dio origen a una metodología dirigida a extensionistas de nivel medio y productores.

Seguidamente en el año 2006, se aplicó dicha metodología en el diseño de parcelas de riego en el sur de Honduras, en el Proyecto piloto de Riego del valle de Nacaome financiado por Cooperación Italiana y la Secretaría de Agricultura y Ganadería de Honduras (SAG). En esa ocasión se hicieron mejoras a la metodología, consiguiendo aplicarla con éxito a técnicos de nivel medio, productores e ingenieros agrónomos de las disciplinas de producción vegetal u otras.

Actualmente se presenta esta metodología, para que su empleo favorezca el trabajo de extensionistas, ayude a los productores y contribuya al aprendizaje de estudiantes de agronomía.

Para el entrenamiento en el método, se realiza un taller de tres días, con el apoyo de diapositivas agrupadas en tres partes correspondientes a:

1. Datos Generales.
2. Requerimientos de riego.
3. Diseño hidráulico.

Lo anterior incluye una fase de campo para el levantamiento de parcelas, reconocimiento de suelos y de la fuente de agua, así como espacio para tomar los datos del productor.

Ing. Juan Leonardo Chow
Especialista Suelos – Agua.

Tel: 2713 2164 E-mail: chow1961@yahoo.com , Usuario Skype: leochow72

I. Introducción

A continuación se presenta la Metodología Fácil de Riego por Goteo "MEFADERG" la cual consta de tres partes:

La primera consiste en el levantamiento de datos generales del productor y la parcela, lo que incluye: clima, levantamiento de la parcela, realización del plano, tipo del cultivo, tipo de suelo y fuente de agua. Para completar esta sección 1, se presenta el instrumento "Fto1 Datos Generales".

Una segunda parte, toma los datos de requerimientos de riego basado en los datos climáticos (Eto) y del cultivo (Kc), así como datos de suelo para establecer la lámina de riego y posteriormente definir lámina de riego neta y bruta, incluyendo además la intensidad de la aplicación (Ia), tamaño de sectores de riego y caudal del sector. Este último se compara con el caudal de la fuente para analizar la viabilidad del riego. Para la sección 2, mencionada se usa el instrumento, "Fto 2 Requerimientos de Riego".

Finalmente una tercera parte que consiste el diseño hidráulico del sistema de riego por goteo. Para esta sección 3, se usa el instrumento, "Fto 3 Diseño de la tubería". En este acápite se estiman las pérdidas de carga de una forma sencilla y práctica. Para ello se utilizan 4 tablas que se desarrollaron para evitar los complicados cálculos hidráulicos. Las tablas se usan de la siguiente manera:

1. El diseño del lateral de riego.

Una vez medida su longitud (en base al plano previamente levantado) y seccionada la cinta de goteo (16mm) o manguera PE (16mm), se usa la tabla No1 para cintas de goteo o la Tabla No2 para goteros tipo botón, en ellas, con el dato de caudal y longitud del lateral se determina la pérdida de carga. También en el manual de la cinta o del gotero, se encuentra la presión de operación del emisor. La pérdida de carga en el lateral debe ser menor o igual al 11% de la presión de operación, si esto no se cumple, debe reducirse la longitud del lateral y repetir el paso anterior.

2. En el diseño de la tubería de distribución de PVC, una vez conocida la longitud (en base al plano) y el caudal del proyecto (sección 2 requerimientos de riego) el cual se divide entre 2, dado que el caudal del proyecto servirá para alimentar 2 líneas de tuberías de distribución que abastecen a 2 bloques de laterales en un solo turno de riego.

Para estimar el diámetro de la tubería se usa la pérdida de carga (hd) permisible, que es 9% de la presión de operación de la cinta, valor que se divide entre el factor Chistianssen de la tabla No 4. El valor Chistianssen se determina por el número de cintas (laterales) que se conectan al tubo de distribución y material de la tubería (180 para PVC).

Después se busca el caudal (l/s) que pasará por la tubería, después en la tabla No3, se ubica el valor mas aproximado del caudal deseado y a la derecha se busca la pérdida de carga más próxima al valor establecido anteriormente, usando el criterio: $(Presión\ de\ operación) \times 9\% / F(Chistianssen)$, que es la presión operación y el factor chistianssen antes descrito. Una vez ubicados ambos valores en la tabla, se busca en verticalmente el diámetro que corresponde, de esta manera obtenemos el diámetro de la tubería.

La suma de la pérdida de carga de la tubería de distribución (encontrada) y la pérdida de carga en el lateral, debe ser menor o igual al 20% de presión de operación del emisor.

3. Para el diseño de la tubería de conducción de PVC, se toma en cuenta la longitud (plano previamente levantado) y el caudal del proyecto, de este modo, tomando como criterio una perdida de carga permisible, que es el 2% de la longitud, y el caudal del proyecto se ubican dichos valores en la tabla No 3, par ello primero se ubica el caudal del proyecto en la primera columna y ala derecha se busca la pérdida de carga, una vez encontrado los valores más próximos, buscamos en la parte superior para localizar el diámetro de la tubería a usar. De este modo obtenemos el diámetro de la tubería.
4. Finalmente se suman el 77% las pérdidas de carga de laterales, y tubería de distribución, más las pérdidas en la tubería de conducción, más la presión de operación, más las pérdidas de carga en el filtro y sistema de fertirriego. Estos últimos valores se obtienen del manual de la cinta, del filtro y del dispositivo para fertirriego. Con estos valores se selecciona la motobomba, considerando su curva de desempeño H-Q.

De esa manera se concluye el diseño del sistema de riego por goteo, al cual se le añade una minuta de materiales a comprar.

II. Objetivo

Proveer a extensionistas y agricultores una metodología que facilite el diseño de sistemas de riego por goteo, con la finalidad de contribuir a una mejor adopción de dicha tecnología, así como posibilitar un óptimo aprovechamiento de la instalación y favorecer la operación y mantenimiento del sistema.

III.Sección 1: Levantamiento de datos generales

En esta sección se presenta el instrumento (Fto 1. Datos Generales), que sirve para organizar por pasos, los datos que se tomarán en campo. Para el levantamiento de los mismos debe realizarse primero una entrevista con los agricultores(as), posteriormente hacer ellos una gira de campo y finalmente analizar los resultados con todo el grupo. Este instrumento tiene 18 pasos que se presenta en una tabla.

A. Objetivo

Involucrar a los agricultores y técnicos en el proceso de diseño del sistema de riego, colaborando en tareas como: entrevistas, descripción de la textura del suelo en campo, levantamiento del croquis de la parcela y aforo de la fuente.

B. Entrevistas

Mediante esta técnica, se establece un diálogo con el agricultor(a) o grupo, con la finalidad de conocer los datos descritos en Fto 1 Datos Generales:

- Paso No1, área que desea regar
- Paso No2, cultivo de interés,
- Paso No3, profundidad de raíces del cultivo
- Paso No 18, horas que el agricultor dispone para hacer los riegos

Además con la entrevista también se conocerá si el agricultor(a) o grupo tiene o no, experiencia en el cultivo y en la operación de sistemas de riego. Esto último se debe anotar en el espacio de observaciones que está al pie del cuadro de formato de toma de datos generales (Fto1).

C. Gira de Campo.

Esta técnica nos ayudará lograr lo siguiente:

1. Área de la parcela, Paso No1

Esto se hará mediante la medición del lote en el campo, también se determinará la posición de las válvulas de control y cabezal de riego, después se dibuja el croquis de la parcela.

2. Tipo de suelo textura, Paso No4.

Se hace extracción de suelo con una barrena o pala y posteriormente se hará una prueba de textura manual, también se pueden tomar muestras para laboratorio, a fin de que se realice un análisis físico y químico del suelo.

3. Aforo de la fuente, Paso No 8.

Para pozo u ojo de agua:

Puede usarse un barril de 200 Lts y luego medir el tiempo en que éste se llena, hacer la prueba 5 veces para conocer el tiempo promedio en que se llena dicho recipiente, luego mediante la expresión:

$Q = 200/t$, donde:

Q , es el caudal en L/s,

200 es el volumen del recipiente en Litros.

t es tiempo medido en segundos.

En el caso que la fuente de agua sea una quebrada debe hacerse lo siguiente:

Buscar un tramo de la quebrada donde el cauce sea lo más uniforme posible y por el mismo fluya casi toda el agua y después:

- Medirse la profundidad del agua en todo lo ancho del canal,
- Medir la anchura del canal o cauce
- Medir la longitud del tramo
- Medir el tiempo en que un objeto flotante recorre el tramo previamente medido, hacer esto 5 veces y promediar el tiempo.

Luego, supongamos que en un tramo de 5 m, el objeto flotante duró 60 segundos en recorrerlo, ahora obtenemos la velocidad mediante la expresión:

$V = L/t$, donde;

V , es la velocidad en m/s

L , es la longitud de un tramo de la quebrada

T , es el tiempo en que recorre un objeto el tramo de la quebrada.

Sustituyendo en la expresión: $V = 5/60 = 0.083$ m/s.

Después calculamos el área de la sección transversal del tramo de la quebrada, para esto hacemos lo siguiente:

Dibujamos en una página en blanco líneas horizontales y verticales con separación de 1cm, esto creará cuadrículas de 1cm x 1cm, para esto podemos usar una regla graduada a 30cm. Luego en la zona cuadriculada dibujamos las diferentes profundidades de la sección transversal del canal y también dibujamos la achura de la sección, asignado 0.5 m de dibujo por cada 1 cm de papel. En la base de la sección (fondo del canal) unimos las líneas de las profundidades, para cerrar el perímetro, como se muestra en la figura siguiente.



Ahora el área de la sección será la suma de las cuadrículas encerradas en el perímetro del dibujo, las cuales están indicadas con números dentro de círculos. En total hay 10 cuadrículas, pero 4 de ellas son incompletas, por lo que en lugar de 4 cuadrículas consideramos 2 cuadrículas completas, de este modo tenemos 8 cuadrículas, por tanto con la expresión:

$A = 8 \text{ cuadrículas} \times 0.25 = 2 \text{ m}^2$, donde;

A , es área de la sección m^2 .

Cuadrículas, son los cuadros dentro del perímetro del trapecio dibujado.

Factor, 0.25, es áreas en m^2 , que reprende al superficie de una cuadrícula.

Finalmente, con los datos anteriores estimamos la velocidad del agua, mediante la formula $Q = V \times A \times 1000$, donde;

Q, es el caudal en L/seg.

V, es la velocidad de agua en m/s

A, es el área de la sección del canal en m²

1000, es el factor para convertir m³ a Litros.

Sustituyendo con el ejemplo: $Q = 0.083 \times 2 \times 1000 = 166 \text{ L/s}$

D. Análisis de datos tomados de entrevista y en campo.

Para realizar el análisis se usa el instrumento "Fto1.Datos Generales", que se presenta en este acápite. Este instrumento está compuesto de una tabla con 4 columnas, siendo esta: ***Pasos, Descripción, Valores, Instrumento a usar.*** Otros instrumentos de apoyo son: ***tablas No G1, tablas No G2, tablas No G3, tablas No G4.*** Los instrumentos de apoyo sirven para resolver diferentes pasos del instrumento "Fto1. Datos Generales".

Ahora veremos un ejemplo.

Don Ramón Sánchez, desea sembrar chiltoma (chile dulce) en 0.25Mz de tierra franco arenoso ubicado en la concordia, Nicaragua. Él tiene un pozo y conoce bien el manejo del cultivo, pero nunca ha sembrado bajo con riego.

Los datos del ejemplo se colocan en el Fto 1. Datos generales, el cual tiene 18 pasos, el instrumento se completa con la ayuda de instrumentos auxiliares que se describen en la "***columna 4 Instrumento a usar***", de cada paso del instrumento principal. A continuación se presenta el instrumento, con los datos del ejemplo y datos provenientes de instrumentos auxiliares (***tablas No G1, tablas No G2, tablas No G3, tablas No G4.***)

Fto 1. Datos Generales

Fecha: 17-11-10

Nombre y Apellidos

Ramón Sánchez

Pasos	Descripción	Valores	Instrumentos a usar
1	Área que desea regar (Mz)	0.25	Entrevista
2	Cultivo que quiere regar	Chile Verde (Chiltoma)	Entrevista
3	Profundidad de raíces (Pr) cm	50	Entrevista, Agrónomo
4	Tipo de suelo, textura.	Franco Arenoso	Barrenas en el campo
5	Densidad Aparente gr/ml	1.4	Tabla No G1
6	Capacidad de Campo (CC) %	10	Tabla No G2
7	Punto Marchites permanente (PMP) %	4	Tabla No G3
8	Caudal de la fuente, Q L/s	0.12	Aforo de fuente en campo
9	Evapotranspiración potencial máxima, ETo (mm)/día	6	7mm en tópic seco, o 6 cuando la elevación es más de 500 msnm.
10	Coeficiente de cultivo Kc	1	Tabla No G4
11	Porcentaje de Área bajo riego, PAR %	0.5	Riego por goteo es 0.5
12	Eficiencia de riego, ef	0.9	Riego por goteo es 0.9
13	Intervalo de riego, Ir (días)	2	Para micro riego se recomienda de 1 a 3 días, con el productor se define los días del intervalo de riego.
14	Distancia entre laterales, dl (m)	1.5	Según la distancia entre surcos que necesita el cultivo. Varía según el cultivo.
15	Distancia entre emisores, de (m)	0.3	Según el suelo.
15.1	Distancia entre platas, (m)	0.3	Según el cultivo
16	Caudal del emisor, q L/h	1	Según el tipo de suelo seleccionar de la tabla No G1
17	Distancia entre emisores, de (m)	0.3	Según el tipo de suelo seleccionar de la tabla No 1
18	Horas disponibles para riego	6	Entrevista

Observaciones: Conoce el cultivo, pero nunca ha sembrado con riego.

Croquis No 1

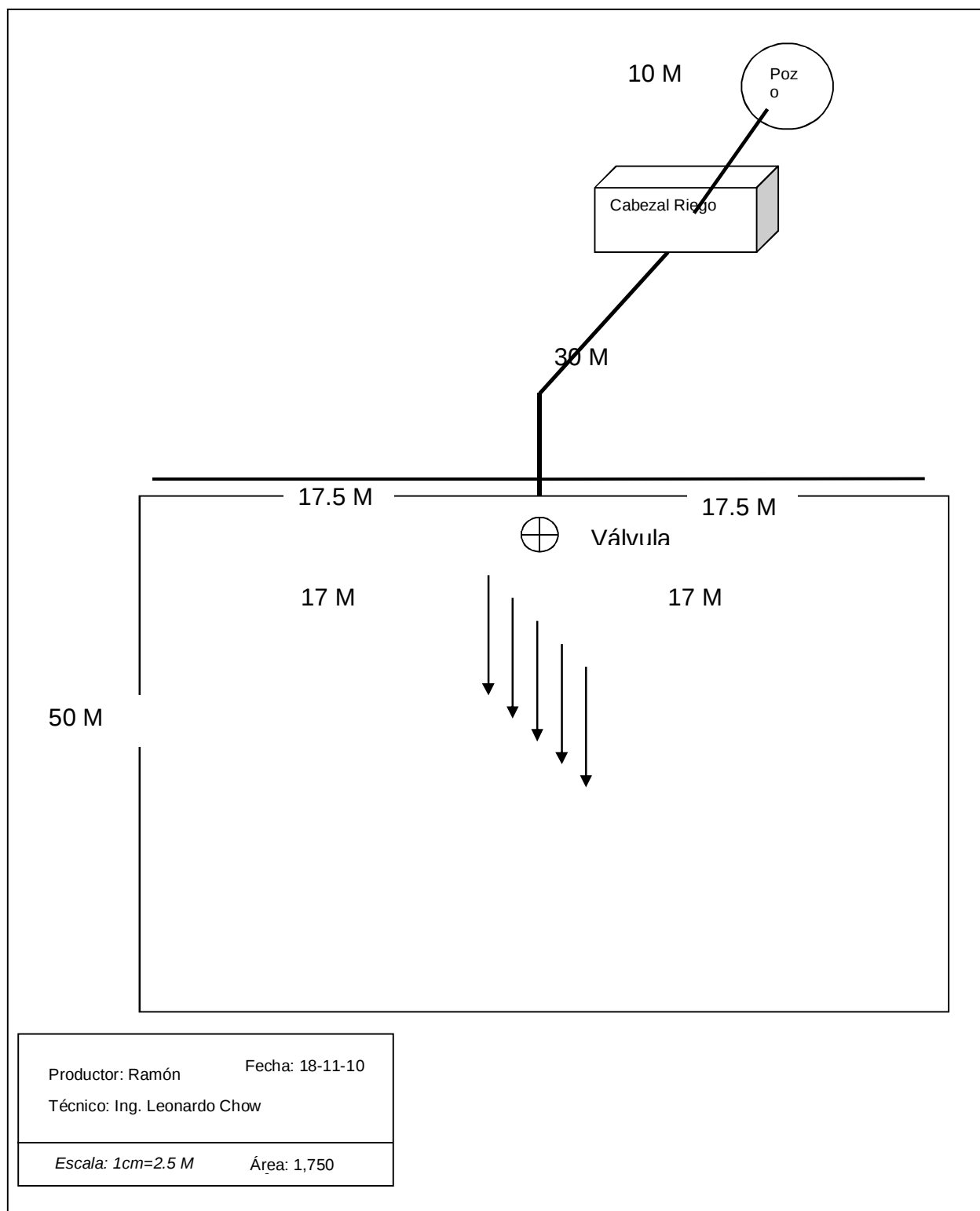


Tabla No G-1: Densidad Aparente de suelos según su textura

Densidad aparente

TEXTURA	DENSIDAD APARENTE (g/ml)
ARENOSA	1.5-1.8
FRANCO ARENOSA	1.4-1.6
FRANCA	1.3-1.5
FRANCO ARCILLOSA	1.3-1.4
ARCILLOSA	1.2-1.3

Tabla No G-2: Capacidad de Campo de suelos según su textura.

Capacidad de Campo (CC)

TEXTURA	HUMEDAD (%)
ARENOSA	6-12
FRANCO ARENOSA	10-18
FRANCA	18-26
FRANCO ARCILLOSA	23-31
ARCILLOSA	31-39

Tabla No G-3: Punto de Marchites Permanente de suelos según su textura.

Punto de Marchites Permanente (PMP)

TEXTURA	HUMEDAD (%)
ARENOSA	2 - 6
FRANCO ARENOSA	4 - 8
FRANCA	8 - 12
FRANCO ARCILLOSA	11-15
ARCILLOSA	15-19

Tabla No G-4: Coeficiente de cultivos Kc, según algunos cultivos.

Tabla 14. Valores de Kc (H)

Tabla del coeficiente Kc (HARGREAVES)

CULTIVO	FASE INICIAL	MEDIADOS DE ESTACION	FIN DE TEMPORADA
Aceitunas	0.60	0.8	0.80
Alcachofa	0.90-1.00	0.95-1.05	0.90-1.00
Alfalfa	0.40-0.50	1.00-1.40	0.95-1.35
Algodón	0.20-0.50	1.05-1.30	0.30-0.60
Apio	0.25-0.35	1.00-1.15	0.90-1.05
Arroz	1.10-1.15	1.10-1.30	1.10
Avena	0.20-0.40	1.00-1.20	0.20-0.25
Banana	0.40-0.65	1.00-1.20	0.75-1.15
Berenjena	0.20-0.50	0.95-1.10	0.80-0.90
Calabacita	0.20-0.40	0.90-1.00	0.70-0.80
Caña de azúcar	0.40-0.50	1.00-1.30	0.50-0.60
Cártamo	0.30-0.40	1.05-1.20	0.20-0.25
Cebada	0.25-0.30	1.00-1.10	0.10-0.20
Cebollas secas	0.40-0.60	0.95-1.10	0.75-0.85
Cebollas verdes	0.40-0.60	0.95-1.05	0.95-1.05
Cereales pequeños	0.20-0.40	1.10-1.30	0.20-0.35
Chile verde ó pimiento	0.30-0.40	0.95-1.10	0.80-0.90
Cítricos	0.65	0.65-0.75	0.65
Espárrago	0.25-0.30	0.95	0.25
Espinacas	0.20-0.30	0.95-1.05	0.90-1.00
Frijol castor	0.30-0.40	1.05-1.20	0.50
Frijol seco	0.30-0.40	1.05-1.20	0.25-0.30
Frijol verde	0.30-0.40	0.95-1.05	0.85-0.95
Frutales de hoja caduca	0.50	0.85-1.20	0.50-0.85
Idem con cultivo	0.75-0.85	1.10-1.25	0.70-1.10
Girasol	0.30-0.40	1.05-1.20	0.35-0.45
Guisantes	0.40-0.50	1.05-1.20	0.95-1.10
Kiwi	0.30	1.05	1.05
Lechuga	0.20-0.30	0.85-1.05	0.45
Legumbres (pulses)	0.20-0.40	1.05-1.20	0.25-0.30
Lenteja	0.20-0.30	1.05-1.20	0.25-0.30
Linaza	0.20-0.40	1.00-1.15	0.20-0.25
Maíz de grano	0.20-0.50	1.05-1.20	0.35-0.60
Maíz dulce	0.20-0.50	1.05-1.20	0.95-1.10
Maní (cacahuete)	0.30-0.50	0.95-1.00	0.50-0.60
Melones	0.15-0.40	1.00-1.10	0.30-0.90
Mijo	0.20-0.40	1.00-1.15	0.25-0.30
Papas	0.40-0.55	1.10-1.20	0.40-0.75
Pepino	0.20-0.40	0.90-1.00	0.70-0.80
Pistacho	0.10	1.05	0.35
Rábano	0.20-0.30	0.80-0.90	0.75-0.85
Remolacha	0.25-0.40	1.05-1.20	0.25-0.30
Remolacha de azúcar	0.20-0.40	1.05-1.20	0.70-1.00
Repollo	0.30-0.50	0.95-1.10	0.80-0.95
Sandía	0.25-0.50	1.00-1.10	0.20-0.70
Sorgo	0.15-0.40	1.05-1.20	0.30-0.50
Soya	0.30-0.40	1.00-1.15	0.45-0.55
Tabaco	0.30-0.40	1.00-1.20	0.75-0.85
Tomate	0.25-0.50	1.05-1.25	0.60-0.85

IV. Sección 2 Cálculo de requerimientos de riego

A. Objetivo

Estimar junto con los agricultores(as) las necesidades hídricas del cultivo y el modo de aplicar agua para mantener los niveles de humedad adecuados en el suelo para el óptimo desarrollo del cultivo.

B. Requerimientos de riego del cultivo

En esta sección se presenta el instrumento “Fto2 Requerimientos de riego”, que sirve para organizar los datos y pasa a paso hacer los cálculos, a fin de conocer el caudal necesario, tiempo de riego, intervalo y laminas de riego. Estos datos se emplearán para el diseño hidráulico y serán necesarios para la operación del sistema.

Los datos a procesar provienen del instrumento “Fto1 Datos Generales”, el cual fue previamente completado, y está descrito en la sección 1 de este manual.

Ahora bien, en la primera columna del instrumento, “Fto2 Requerimientos de Riego”, se describen los 10 pasos a seguir, después en la segunda columna se describen los cálculos y las fórmulas a utilizar, en la tercera columna se ubican los resultados obtenidos en cada paso y en la cuarta se indica el origen de cada dato que se va a utilizar y los procedimientos del cálculo.

A continuación se presenta paso a paso el proceso para aplicar el instrumento, y de esta manera tener una mejor comprensión a cada paso y cada cálculo del instrumento.

Paso No 1

1. Evapotranspiración del cultivo (ETc)

Evapotranspiración del cultivo es el requerimiento hídrico del cultivo, el cual se basa en la evapotranspiración referencial y el coeficiente de cultivo y se obtiene mediante la fórmula:

$$ETc = Eto \times Kc$$

Para nuestro ejemplo los datos provienen del instrumento “Fto1 Datos Generales”, Paso No8, $Eto = 6\text{mm/día}$ y Paso No9, $Kc = 1$. Con estos datos se procesa la fórmula resultando que:

$$ETc = 6 \times 1 = 6 \text{ mm/día}$$

Obteniéndose que el requerimiento es de 6mm/día para el cultivo de chiltoma, el dato que se ubica en el Paso No1, del Fto2.

Paso No 2

2. Evapotranspiración de gotero (ETg).

Debido a que se hará riego por goteo, ahora debemos ajustar el humedecimiento a riego localizado, llamado evapotranspiración de gotero (ETg), lo que se hace por medio de la formula:

$$Etg = Etc \times PAR$$

Con este método de riego sólo se humedece un 50% de la superficie del cultivo, esto se conoce como porcentaje de área bajo riego (PAR). Para nuestro ejemplo, aplicando la formula se obtiene que:

$$Etg = 6 \times 0.50 = 3\text{mm/día}; \text{ este dato se registra en el Paso No 2, del Fto 2.}$$

Paso No 3

3. Lámina de riego (Lr).

Como las plantas toman el agua del suelo, los requerimientos hídricos se aplicarán a través del riego, por lo que se hace necesario calcular la lámina de riego que se aplicará al suelo. Ahora calculamos la lámina de riego (Lr) que depende del tipo de suelo y profundidad de las raíces del cultivo, cuyas relaciones se expresan mediante la siguiente formula:

$$Lr = (CC - PMP) / 100 \times Pr \times Da.$$

Los valores de capacidad de campo (CC) y Punto de marchites permanente (PMP) provienen del Fto 1 y corresponden a los Pasos No6 y No7 cuyos valores son, 10% y 4% respectivamente para nuestro caso. También los valores de profundidad de raíces (Pr) y densidad aparente (Da) provienen del Fto1, y se muestran en los Pasos No3 y No5, con valores de Pr=50cm y Da=1.4gr/ml, respectivamente.

Al hacer los cálculos se obtiene:

$$Lr = (10 - 4) / 100 \times 50 \times 1.4 = 4.2 \text{ cm ó } 42\text{mm}.$$

Este dato se muestra en el Paso No3 del Fto2 y expresa la cantidad de agua necesaria para alcanzar la capacidad de campo (CC), necesaria para iniciar el primer riego de un cultivo. Posteriormente con riegos sucesivos en determinados

intervalo de riego, restituiremos la humedad perdida, evitando que las reservas de humedad lleguen al agotamiento.

Lo anterior da lugar al concepto de lámina neta de riego (L_n), cuya lámina sirve para restituir la humedad suelo. Dicha humedad de restitución equivale a una fracción de la lámina de riego (L_r) y puede definirse como la humedad necesaria para la restitución del agua que un cultivo ha consumido en cierto período de tiempo. Por tanto sólo se permite un cierto porcentaje de agotamiento de la lámina de riego (L_r), y cuando se cultivan hortalizas debe ser entre 15% y 25%.

Paso No 4.

4. Lámina Neta de Riego (L_n).

Ahora estimamos la lámina neta de riego mediante la expresión:

$$L_n = E_{tg} \times I_r.$$

En el Paso No2 del presente formato se presenta la evapotranspiración de gotero, $E_{tg}=3\text{mm/día}$ y en el Fto 2 Paso No13, encontramos el intervalo de riego, $I_r=2$ días. Con tales valores estimamos:

$$L_n = 3 \text{ mm/día} \times 2 \text{ días} = 6\text{mm}.$$

Así la lámina de riego neta (L_n) será 6mm, que es la humedad suficiente para 2 días de consumo del cultivo. Note que 6mm es aproximadamente el 15% de la lámina de riego (L_r).

Paso No 5

5. Lámina bruta de riego (L_b).

Debido a que cuando aplicamos el riego hay pérdidas, que se deben a la eficiencia del riego (E_f), para los sistemas de riego por goteo se a establecido este valor en $E_f=0.90$. Con este dato ajustamos la lámina de riego neta (L_n), mediante el cálculo de la lámina de riego bruta que considera las pérdidas del sistema mediante la expresión:

$$L_b = L_n / E_f.$$

El valor para la lámina neta de riego en nuestro caso es según la formula anterior:

$$L_b = 6\text{mm} / 0.90 = 6.6\text{mm}.$$

Este será el valor de la lámina de agua que aplicaremos al suelo mediante el riego, con el fin de restituir la capacidad de campo del mismo.

Paso No 6

6. Intensidad de la aplicación (Ia).

En este momento conocemos la lámina bruta de riego (Lb), cuyo valor indica la humedad necesaria para restituir la humedad consumida por el cultivo y factores ambientales en un período de tiempo. No obstante dicha lámina se aplica a través del sistema de riego, por lo que necesitamos conocer la intensidad de la aplicación (Ia), dato que está dado en mm/hora).

La estimación de la intensidad de la aplicación (Ia) se hace mediante la expresión:

$Ia = qe/(dl \times de)$, donde qe es el caudal en L/h que se aplica en una superpie, la que está definida por la distancia entre laterales (dl) multiplicado por distancia entre emisores (de).

El dato del caudal del emisor ($qe = 1 \text{ L/h}$) lo obtenemos de Paso No16 Fto1, además en él hayamos los Pasos No14 y No15, de donde obtenemos la distancia entre laterales ($dl = 1.5\text{m}$) y distancia entre emisores ($de = 0.3\text{m}$) respectivamente según nuestro ejemplo.

De este modo calculamos: $Ia = 1/(1.5 \times 0.3) = 2.2 \text{ mm/hora}$. Esto significa que nuestro sistema aplicará una lámina de 2.2 mm por cada hora de operación.

Paso No 7

7. Tiempo de Riego (T).

Ahora, para operar el sistema necesitamos conocer el tiempo necesario para aplicar la lámina bruta de riego (Lb) y se hace mediante la expresión:

$T = Lb/Ia$, de este manera se calcula;

$T = 6.6/2.2 = 3$; de donde se concluye que la lámina bruta de riego se aplicaría en 3 horas, puesto que el sistema dotará $Ia = 2.2 \text{ mm/hora}$. Como el intervalo de riego (I_r) es de 2 días, el riego se repetirá cada 2 días, para restituir el agua consumida por el cultivo y factores ambientales en dicho período.

Paso No 8.

8. Área del sector de riego (A).

Ahora conocemos la lámina bruta de riego (Lb) que requiere el suelo para satisfacer al cultivo, también sabemos el tiempo (T) que necesitamos para aplicarla y cada cuanto tiempo (I_r) debemos practicar la operación de riego para

restituir la humedad. Además conocemos el tiempo que el agricultor dispone para realizar las operaciones de riego.

No obstante, desconocemos la superficie del sector de riego. A la porción de la superficie del lote que deseamos regar en un período dado se le llama sector de riego; y el número de sectores dependerá del tiempo que dispongamos para aplicar el riego y de la cantidad de agua disponible en cierto tiempo a lo que llamamos caudal (Q), valor que se expresa en L/hora, L/seg, o M3/hora.

9. Proyectos grandes con abundantes recursos hídricos

En proyectos grandes de riego con abundante disponibilidad de agua, el número de sectores de riego, dependen únicamente del tiempo disponible (td) para hacer las operaciones de riego.

Así por ejemplo, si disponemos de 6 horas diarias para regar y regaremos cada 2 días, dispondremos de 12 horas en total para regar el todo el lote. Entonces calcular el número de sectores de riego se hace con la expresión:

Sectores = $td \times Ia / T$, si completamos un riego en $T= 3$ horas como en nuestro caso, tendremos:

Sectores = 6 horas x 2 días / 3 horas = 4 sectores; esto significa que según nuestro tiempo disponible y el tiempo de riego debemos dividir el lote en 4 sectores de riego de igual tamaño.

En el caso de nuestro ejemplo, queremos regar un lote con una superficie de 1Mz, por tanto: *Área del sector: $1 / 4 = 0.25$ Mz, que multiplicado $\times 7000 = 1,750$ m², como se indica en el Paso No8 del instrumento "Fto2 Requerimientos de riego".*

Lo anterior significa que en el primer día se regarán 2 sectores de 1,750m² cada uno, aplicado 3 horas de riego en cada sector y el segundo día se regarán los otros 2 sectores para completar el lote de riego (Diagrama No1). El diseño hidráulico se hará según el tamaño del sector de riego.

Diagrama No 1: Sectores de riego

Día 1. Sector 1, Áreas 0.25Mz, riego 3 h.	Día 1. Sector 2, Áreas 0.25Mz, riego 3 h.
Día 2. Sector 3, Áreas 0.25Mz, riego 3 h.	Día 4. Sector 3, Áreas 0.25Mz, riego 3 h.

10. Pequeñas áreas de riego con recursos hídricos limitados.

En pequeños riegos, con recursos hídricos limitados, la cuestión es más bien: ¿cuanta superficie puedo regar con el agua que tengo?

Por tanto, necesitamos conocer cuantos litros de agua (volumen) obtendremos en el tiempo (T horas) que disponemos para el riego, según un caudal conocido, que podría ser un pozo excavado o manantial. Para determinar el volumen empleamos la siguiente fórmula: *$Vol = Q \times 3600 \times T$, el volumen se expresa en Lts, Q en L/seg. y T en horas.*

Para el caso de nuestro ejemplo el tiempo de riego es, T=3 horas, y si asumiremos un caudal hipotético de 0.5 L/s, tenemos que:

$$Vol = 0.5 \times 3600 \times 3 = 5,400 \text{ Lts.}$$

Esto significa que en un período de 3 horas obtenemos 5,400 Lts. de agua.

Ahora necesitamos conocer el área que se puede regar con el volumen anterior, para lo cual empleamos la formula: $\text{Área} = Vol/Lb$;

Como ya conocemos volumen 5,400 Lts. y en el Paso No5 del Instrumento "Fto2 Requerimientos de riego", encontramos la lámina bruta de riego ($Lb=6.6\text{mm}$), tenemos que:

$\text{Área} = 5,400/6.6 = 818 \text{ m}^2$, que es la superficie del sector que se puede regar con dicho caudal en 3 horas de riego.

Conociendo este dato (área del sector) los agricultores decidirán cuantos sectores quieren manejar en un día y de esta manera conocer el área total que se puede regar. En el caso del ejemplo, se el agricultor decide regar 6 horas al día, por lo que podrá regar 2 sectores de 818 m^2 cada uno. Al día siguiente puede regar en el mismo tiempo otros 2 sectores de igual superficie, con lo que *podría regar un máximo de 4 sectores de 818 m^2 con intervalo de riego de 2 días, el valor de intervalo der riego se encuentra en Paso 13, del Instrumento "Fto1 Datos Generales".*

Paso 9.

11. Volumen en el sector de riego.

En pequeños sistemas de riego a menudo obtenemos primero el volumen disponible y luego estimamos la superficie del sector de riego, pero en sistemas más grandes primero estimamos el número de sectores y a partir de este valor

calculamos la superficie del sector de riego, por tanto se necesita estimar el volumen de agua requerido para regar cada sector.

En el caso anterior se emplea la expresión:

Vol = A x Lb: donde; Vol es volumen en Litros, A es el área (m²) y Lb es la lámina bruta de riego en mm.

Para nuestro ejemplo es ***A = 1,750m² y Lb=6.6, luego calculamos:***

$$\text{Vol(L)} = 1,750 \times 6.6 = 11,550 \text{ Lts.}$$

Esto es el volumen necesario para satisfacer 2 días de demanda hídrica del cultivo.

Paso 10.

12. Caudal del proyecto.

Finalmente calculamos el caudal del proyecto, mediante la expresión:

Q = Vol / (Tx3600), donde Q es caudal en L/s, Vol es e volumen en Litros, T es tiempo en Horas.

Aplicando la fórmula a nuestro caso obtenemos:

$$Q = 11,550 / (3 \times 3600) = 1.07 \text{ L/seg.}$$

Este valor representa el caudal necesario para abastecer un sector de riego y a partir del cual se dimensionará la tubería a utilizar.

Con este ejemplo se utilizó el instrumento “Fto 2 Requerimientos de Riego” y se presenta a continuación:

Fto No 2 Requerimientos de riego

Paso	Descripción	Valores	Instrumentos / procedimiento
1	Evapotranspiración cultivo, ET_c (mm) $ET_c = ET_o \times K_c$	$Etr = 6 \times 1 = 6$	Se multiplica el Paso 9 (ET_o) por el Paso 10 (K_c) que están en el Fto No1.
2	Evapotranspiración gotero, ET_g (mm) $ET_g = ETr \times PAR$	$Etg = 6 \times 0.5 = 3$	Se multiplica el Paso No 1 (ETr) del presente cuadro por el Paso 11 (PAR), del Fto No1.
3	Lámina de riego, L_r (mm) $L_r = (CC-PMP)/100 \times Pr \times Da$	$Lr = (10-4)/100 \times 500 \times 1.4 = 42$	Se restan el Paso 6 (CC) con el Paso 7 (PMP) del Fto 1, luego el valor se divide entre 100 y se multiplica por Paso 3 (Pr) previa conversión a mm y el Paso 5 (Da) del Fto No1.
4	Lámina Neta de riego, L_n (mm) $L_n = Etg \times Ir$	$Ln = 3 \times 2 = 6$	Se multiplica el Paso 2 (ET_g) del presente cuadro por el Paso 13 (Ir) del Fto No1.
5	Lámina Bruta de riego, L_b (mm) $L_b = Ln/Ef$	$Lb = 6/0.9 = 6.6$	El Paso 4 (L_n) del presente cuadro se divide entre el Paso 12 (ef) del Fto No 1
6	Intensidad de la Aplicación, la (mm/hora) $la = qe/(dl \times de)$	$la = 1/(1.5 \times 0.3) = 2.2$	El Paso 16 (qe) del Fto1, divídalo entre el Paso 14 (dl) del Fto1 y luego divídalo entre el Paso 17 (de) del Fto 1.
7	Tiempo de riego, T (horas) $T = Lb/la$	$T = 6.6 / 2.2 = 3$	Divida el Paso 5 (L_b) entre el Paso 6 (la) del presente cuadro.
8	Área del sector riego (M^2) $A (m^2) = A(Mz) \times 7000$	$A = 0.25 \times 7000 = 1,750$	Multiplicar el Paso 1 del Fto No1 por 7000. El Paso será el área en metros cuadrados.
9	Volumen necesario, Vol (Lts) $Vol = \text{Área} (m^2) \times Lb$	$Vol = 1,750 \times 6.6 = 11,550$	El Paso 8 (área) se multiplica por el Paso 5 (L_b), ambos datos están el presente cuadro.
10	Caudal del proyecto, Q L/s $Q = Vol/(Tx3600)$	$Q = 11,550 / (3 \times 3600) = 1.07$	El Paso 9 (Vol) se divide entre el Paso 7 (T) y luego entre 3600. Ambos Pasos están en el presente cuadro.

V. Sección 3: Diseño hidráulico de la tubería en la parcela

A. Objetivos

Que los agricultores(as) participen activamente, en el proceso de diseño hidráulico de la red de riego, conociendo el proceso y los criterios de diseño para calcular el diámetro y longitud de las tuberías que conforman el sistema de riego.

B. Diseño de las tuberías.

Para facilitar los cálculos del diseño de las tuberías se presenta el instrumento "Fto3 Diseño de tuberías", que se compone de 7 tablas (*F-3-1: General, F-3-2: Diseño del Lateral, F-3-3: Diseño de la Tubería Distribución PVC, F-3-4: Tubería Conducción PVC, F-3-5: Pérdidas en el Cabezal, F-3-6: Altura manométrica total*) en las cuales se organiza toda la información de la siguiente manera: En la primera columna "**Pasos**", se presenta la numeración del proceso, en la segunda llamada "**Descripción**", se describe el nombre del cálculo, en la tercera denominada "**Valores**" se muestra el espacio para ubicar los resultados y en la cuarta llamada "**Instrumentos a usar**", se describe el origen de los datos y proceso de cálculo.

1. F-3-1: Generales

La primera tabla denominada, F-3-1 General, sirve para ordenar los datos de los instrumentos "Fto1 Datos Generales" y "Fto2 Requerimientos de riego" presentados en las secciones 1 y 2 del presente manual. Se pretende, reunir en un solo instrumento todos los datos necesarios para el diseño, los que se ubican desde el paso No 1, hasta el paso No7. Al finalizar el instrumento F-3-1, se presentan dos pasos cuyos valores requieren calcularse, a continuación de describen:

Paso No 8.

a) Número de emisores.

Se estiman el número de emisores mediante la formula: $No\ emisores = LI/de$; donde (LI) es la longitud del lateral y (de) es la distancia entre emisores. Por tanto, para nuestro ejemplo se tiene: $No\ emisores = 48/0.30 = 160$ emisores por lateral de riego.

Paso No 9

b) Número de laterales.

Así mismo se debe calcular el número de Laterales de riego, lo que se hace con la expresión: $No\ Laterales = Ld/dl$; donde (Ld) es longitud de la tubería de

distribución y (dl) es la distancia entre laterales. Por tanto, según el ejemplo: No emisores = $17/1.5 = 11$ laterales de riego.

2. F-3-2: Diseño del lateral de riego.

El instrumento F-3- 2, busca facilitar el cálculo del diseño del lateral de riego. En él se describen las operaciones, proporciona espacio para resultados y menciona los procedimientos a usar. También menciona donde buscar los datos a utilizar en la formulas, indicando si están en un manual del producto, en una tabla o debe realizarse una operación aritmética para obtenerlo.

Paso No 1.

a) Presión de operación.

Es la presión de operación de la cinta de goteo, que por lo general oscila entre 0.5 y 1 atm., este valor se busca en el manual del fabricante de la cinta que previamente hemos seleccionado en base al tipo de suelo y cultivo. En nuestro caso la cinta es: Ty – tape, TSX 508-30-340, la presión de operación es 5 mca, o sea aproximadamente 0.5 atm.

Paso no 2.

b) Diámetro nominal de la cinta.

Este valor también se obtiene del manual del fabricante de la cinta seleccionada, que para el caso de estudio es de 16mm.

Paso No 3.

c) Criterio de diseño.

El criterio de diseño (cr), se estima mediante la expresión:

$Cr = Po \times 0.20$, donde

Po , es la presión de operación de la cinta o goteo y,

0.20, es el factor de presión que permite que la variación del caudal en el sector de riego sea de **10%** con relación al caudal medio.

En nuestro ejemplo: **$Cr = 5mca \times 0.20 = 1 mca$** . El criterio de diseño expresa la máxima pérdida de carga tolerable en el sector de riego, cuyos componentes son los laterales (cintas de goteo) y en la tubería de distribución conocida también como porta laterales. Esto implica que la suma de la pérdida de carga en los laterales y en la tubería de distribución debe ser menor o igual al criterio fijado, que en el presente ejemplo es de 1mca.

Paso No 4

d) Criterio de diseño del lateral de riego.

Ahora bien, el criterio de diseño del lateral (Crl) se basa en que el 55% del valor del criterio de diseño (Cr), debe ocurrir en los laterales (cintas de goteo) y el restante 45% debe darse en la tubería de distribución; en consecuencia se da la expresión para el criterio de diseño del latera (Crl):

$Crl = Cr(mca) \times 0.55$; donde,

0.55 es un criterio económico de diseño.

Cr, es el criterio de diseño hidráulico.

Para nuestro caso es: $Crl = 1mca \times 0.55 = 0.55 mca$.

La expresión anterior significa, que de la pérdida de carga permisible “Cr = 1mca”, se acepta que el 55% sea la máxima pérdida de carga que ocurrirá en los laterales de riego y el restante 45% se dará en la tubería de distribución.

Paso No 5.

e) Caudal del lateral.

Par calcular este valor, necesitamos dos datos, el caudal del emisor y la longitud del latera (cinta). El primer dato está en el instrumento “F-3-1, Paso No 3”, que es cinta Ty-tape, modelo TSX 508-30-340, cuyo caudal del emisor es 1 L/h. El siguiente dato está en el instrumento “F-3-1, Pasos No 6”, cuyo valor es de 48 m.

Entonces buscamos en la tabla No1 “Pérdida de carga Hlf (mca) x metro en cintas de goteo” y encontramos en la fila Ty-Tape, TSX 508-30-340, que el caudal es ($q = 1.02 L/h$); después, en la columna a la derecha encontramos las longitudes, donde buscamos el valor 48m. Si el valor exacto no se encuentra, optamos por el más próximo, en este caso es 50m, a la derecha de dicho valor está el dato del caudal de la cinta, que en este caso es $Q=170 L/h$. Así obtenemos el resultado del “F-3-2, Paso No 5”.

Paso 6

f) Pérdida de carga en el lateral.

Siempre en la tabla No 1, con el resultado del Paso No 5, $Q = 170 L/s$, se busca en la fila correspondiente al caudal antes mencionado y después en la última columna, encontramos el valor de la perdida de carga, que para el ejemplo es de: $hfl = 0.1406 mca$, este valor se compara con el criterio diseño del lateral (Crl), dato que está en el Paso No 4.

Paso No 7.

g) Evaluación de la pérdida de carga del lateral,

Considerando que el valor de pérdida de carga del lateral es $h_{fl} = 0.1406 \text{ mca}$, resultado que es menor que el criterio del lateral expresado como; $0.1406 < 0.55$, concluimos que las pérdidas de carga en el lateral son satisfactorias para el diseño.

Pero, si el criterio no se cumpliera, se vuelve a realizar el procedimiento con un reduciendo la longitud la misma o aumentando el diámetro de la cinta. El arreglo Fig.No2, reduce a la mitad la longitud del lateral o cinta, aumenta al doble la cantidad de conexiones al tubo de distribución, pero mantiene el mismo caudal para el sector de riego. Hidráulicamente es beneficioso debido a que una menor longitud de lateral, corresponde a menores pérdidas de carga, a mayor número de conexiones en la tubería de distribución crea menos pérdida de carga en la misma.

Paso No8.

h) Presión necesaria en el origen del lateral.

Este valor se consigue mediante la expresión: $H_{lo} = P_o + 0.77 \times h_{fl} \pm Z/2$, donde;

H_{lo} , es la presión (mca) necesaria en la entrada del lateral.

P_o , es la presión (mca) de operación de la cinta, que para el ejemplo es $P_o = 5 \text{ mca}$.

H_{fl} , es la pérdida de carga (mca) en el lateral, el valor del ejemplo es $h_{fl} = 0.1406 \text{ mca}$.

$Z = 0$, es el desnivel del terreno (m), nuestro caso el terreno es plano.

De este modo: $H_{lo} = 5 + 0.77 \times 0.1406 + 0 = 5.11 \text{ mca}$, valor que se ubica en F-3-2, Paso No 8.

Fig. No 1

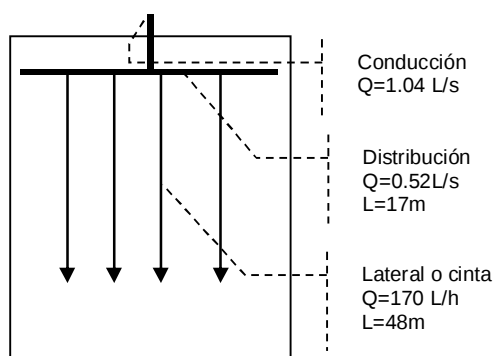
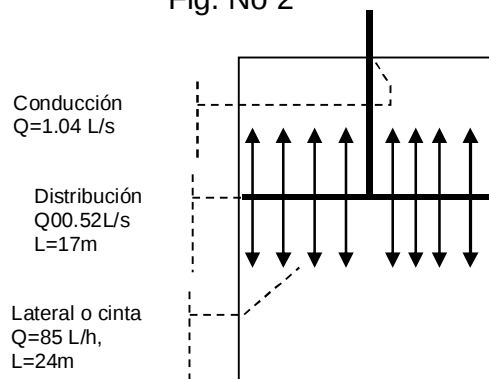


Fig. No 2



3. F-3-3: Diseño de la tubería de distribución PVC.

Este instrumento busca facilitar los cálculos para el diseño de la tubería de distribución y al igual que los instrumentos anteriores, posee una descripción de los pasos a seguir, cálculo, espacio para el resultado y descripción de instrumentos a utilizar para los cálculos.

Paso No 1

a) Criterio de diseño tubería distribución.

Este criterio de diseño de la tubería de distribución "Crd", se obtiene restando al criterio de diseño (Cr), el valor de la pérdida de carga del lateral (hfl), obteniéndose la siguiente expresión:

Crd= Cr-hfl donde;

Crd, es criterio de diseño de la tubería distribución.

Cr, es criterio de diseño.

Hfl, pérdida de carga en los laterales.

Sustituyendo con los valores:

cr=1mca (F-3-2, Paso No3),

hfl = 0.1406 mca (F-3-2, Paso No6),

Obtenemos:

Crd = 1 – 0.1406 = 0.8594 mca

Paso No 2

b) Caudal de la Tubería distribución.

Este paso se logra con la siguiente expresión:

Q = No Laterales x Ql / 3600.

Donde;

Q, es el caudal (L/s) de la tubería de distribución.

No Laterales, son los laterales del sector de riego. Para el ejemplo 11 laterales (**F-3-1: General, paso No 9**)

Ql , es el caudal (L/h) del lateral de riego o cinta de goteo. Para el ejemplo, **170 L/h** (F-3 -2: *Diseño del Lateral, paso no 5*).

Sustituyendo en la fórmula: $Q = 11 \times 170 / 3600 = 0.52 \text{ L/s}$.

Paso No3.

c) Christianssen (F).

Este valor es un coeficiente, que estima el efecto de múltiples salidas en la descarga en la tubería de distribución a causa de los laterales conectados; esto provoca que gradualmente el caudal de entrada en la tubería se reduzca a medida que este avanza a lo largo de la misma, alimentando los laterales de riego, de tal manera que al final de la tubería el caudal es sólo una pequeña fracción del caudal inicial.

El valor del coeficiente se encuentra en la tabla No5, llamada valores de F Christianssen, el cual depende del número de laterales (n) conectados y del régimen hidráulico (m), que para **polietileno (PE) es 1.75**; para **PVC es 1.80** y para **aluminio es 1.90**.

Para nuestro ejemplo el número de laterales lo encontramos en el instrumento F-3-2, Paso No 9, cuyo valor es **n=11**; también, como se usará tubería de PVC, el régimen hidráulico será **m=1.80**. Con estos dos datos nos ubicamos en la primera columna y buscamos el valor 11, luego a la derecha localizamos la columna m=1.80, en la intersección de la fila con la columna mencionada encontramos el valor de Christianssen, el cual en nuestro ejemplo es **F= 0.404**, y se colocará en el instrumento F-3-3, Paso No3.

Paso No 4.

d) Estimación de la pérdida unitaria J

En este caso el criterio de diseño de la tubería de distribución (Crd) es igual la pérdida de carga en la tubería de distribución (Hfg), es decir que el dato del paso No 1 del F-3-3 es el valor de pérdida de carga de la tubería de distribución como se muestra a continuación.

Crd= hfd= 0.8594 mca, paso No 1, F-3-3.

Después como conocemos el factor Christianssen que está en F-3-3 paso No3, en nuestro ejemplo es F= 0.404, se estima la pérdida de carga por metro lineal J, valor que se utilizará para estimar el diámetro de la tubería.

De este modo la pérdida de carga por metro (J) viene dada por la expresión:
 $J = hfd/L/F$ donde;

J, es el valor de la pérdida de carga (mca) por metro de tubería.

hfd, es la pérdida de carga a lo largo de la tubería de distribución, que para nuestro ejemplo es $hfd=0.8594$ mca.

L, es la longitud de la tubería, para nuestro ejemplo es $L=17m$.

Sustituyendo;

$$J = 0.8594 / 17 / 0.404 = 0.1251 \text{ mca/m.}$$

Paso No 5.

e) Estimación del diámetro de la tubería de distribución.

El diámetro de la tubería se busca en la tabla No 3a, para lo cual se usa el valor de caudal paso No 5, F-3-2 y la pérdida de carga por metro (J), dato que está en paso no 4 (F-3-3). En nuestro ejemplo el diámetro fue de 1 pulgada con $Q = 0.50$ L/s y $J=0.0213mca$.

Paso 6.

f) Pérdida de carga en la tubería de distribución.

El Paso anterior se refiere a la pérdida de carga por metro lineal de tubería (J) que *en nuestro ejemplo $J=0.0213mca$* , y ocurre con un diámetro de 1 pulgada tubería PVC, con un caudal de 0.50 L/s, Ahora se necesita conocer la pérdida de carga (Hfd) en todo el trayecto de la tubería, para lo cual debemos conocer la longitud de la tubería, dato cuyo valor es de 17m y está en el *F-3-1, Paso No 6*.

Con el dato anterior y mediante la expresión:

$$Hfd = J \times L, \text{ donde;}$$

J (mca), es la pérdida de carga unitaria.

L (m), es la longitud de la tubería.

Ahora, siendo que:

$$Hfd = 0.0213 \times 17 = 0.3621 \text{ mca. Este valor se ubica en el F-3-3, Paso No 6.}$$

Paso No 7.

g) Pérdida de carga tubería de distribución tomado en cuenta las salidas de laterales H_{fd}' .

Ahora será necesario multiplicar la pérdida de carga por el valor de *Christiansen*, **Paso No 3, F-3-3, ($F=0.404$)**, y de este modo obtener el valor de la pérdida de carga H_{fd}' , la expresión es: $H_{fd}' = H_{fd} \times F$, donde H_{fd} (mca) es la pérdida de carga, F , es el valor *Christiansen*; ahora, aplicando la fórmula para nuestro ejemplo y obtenemos: $H_{fd}' = 0.3621 \times 0.404 = 0.1463$ mca, valor que se ubica en el **F-3-3, Paso No7**.

Paso No 8

h) Evaluación del Paso, pérdida de carga.

Para terminar, el resultado $H_{fd}' = 0.1463$ mca, se compara con el criterio de diseño **0.8594 mca**; debido a que la pérdida de carga de la tubería de distribución es menor al criterio fijado, $0.1463 < 0.8584$, este resultado se acepta. No obstante si no se aceptara, se inicia nuevamente todo el proceso cambiando el diámetro de la tubería a un mayor diámetro.

Paso No 9.

i) Presión en el origen de la tubería de distribución

Este valor se estima mediante la expresión: $H_{do} = H_{lo} + 0.77 \times h_{fd}' + dZ/2$, donde H_{do} (mca) es la presión en el origen de la tubería de distribución, H_{lo} (mca) es la presión en el origen del latera o cinta, en nuestro ejemplo los valores son: $H_{lo} = 5.11$, h_{fd}' (mca), $h_{fd}' = 0.1463$ y $dZ/2$ (m)=0.

Por tanto: $H_{do} = 5.11 + 0.77 \times 0.1463 + 0 = 5.22$ mca, este Paso se ubica en **F-3-3, Paso No 9**.

4. F-3-4: Diseño de la tubería de conducción en PVC.

Este instrumento “Tabla F-3-4”, le ayuda al diseño de la tubería de conducción. En él se describen pasos a paso los resultados y los medios o instrumentos auxiliares a utilizar.

Paso No 1

a) Longitud tubería de conducción (m)

Este se obtiene del croquis o plano de la parcela que en nuestro caso es de 30 m. Dicho valor se ubica en F-3-4, Paso No 1.

Paso No 2.

b) Criterio de diseño de la tubería de conducción (mca)

Se considera que la pérdida de carga permisible en la tubería de conducción debe ser igual o menor al 2% de la longitud de la tubería o que la velocidad sea menor a 2.5 m/s. De este modo la pérdida de carga en la tubería de conducción será:

$h_{fc} = L \times Crc$, donde;

L (m), es la longitud de la tubería. Para nuestro caso es 30 m.

Crc , es criterio de diseño de la tubería de conducción, cuyo valor es 2% o sea 0.02.

h_{fc} , es la pérdida de carga de la tubería de conducción.

Sustituyendo para nuestro ejemplo,

$h_{fc} = 30 \times 0.02 = 0.6$ m, y el valor se ubica en el F-3-4, Paso No 2.

Paso No 3.

c) Pérdida de Carga (J) en 1 metro de tubería.

Ahora debemos encontrar la pérdida de carga (J) en un metro de tubería, lo que se hace con la siguiente expresión:

$J = h_{fc}/L$ donde;

J , es la pérdida de carga en 1 M de tubería.

h_{fc}, es la pérdida de carga a lo largo de la tubería, en el ejemplo es 0.6mca.

L, es la longitud de la tubería, es en nuestro caso 30m.

Por tanto en nuestro ejemplo,

$J = 0.60/30 = 0.02 \text{ mca}$, este valor se ubica en el paso No 3.

Paso No 4

d) Diámetro de la tubería de conducción

Ahora, apoyados con el instrumento tabla No 3a, se busca el valor más aproximado del caudal de diseño, que se encuentra en instrumento Fto No 2, paso No 10, el caso del ejemplo es, $Q=1.07 \text{ L/s}$, entonces en la primera columna de la tabla No 3a, seleccionamos el caudal que en el ejemplo es 1.0 L/s , después a la derecha sobre la fila buscamos el valor de la pérdida de carga usando el dato del paso No 3, F-3-4, que en el ejemplo es de $J= 0.02\text{mca}$; a partir de ahí, en la parte superior de la columna encontramos el diámetro de la tubería, que para el caso nuestro corresponde a tubería PVC Ø 1 ½", con dicho diámetro, la pérdida de carga unitaria es $J=0.0116 \text{ mca/m}$, que es el valor más próximo a $J=0.02\text{mca}$, que es la pérdida de carga permitida en la tubería. Dicho valor del diámetro PVC Ø 1½", se ubica en el F-3-4, Paso No4.

Paso No5.

e) Pérdida de Carga en tubería de conducción.

La estimación de la pérdida de carga se logra con la expresión: $H_{fc} = J \times L$, donde;

J, es pérdida de carga por metro lineal, paso No 4, F-3-4, pérdida de carga que corresponde al diámetro y caudal, que en el ejemplo es 0.0116 mca/m para un caudal de 1 L/s y un diámetro de PVC Ø 1 ½" .

L, es la longitud de la tubería de conducción, que para nuestro caso es 30m y el dato está en paso No1 de presente instrumento (F-3-4).

Entonces resulta que sustituyendo:

$H_{fc} = 0.0116 \times 30 = 0.348 \text{ mca}$, valor que se ubica en el paso No5.

Paso No 6.

f) 5. Evaluación de la pérdida de carga de la tubería de conducción.

El valor de la pérdida de carga H_{fc} , paso No5 F-3-4, se compara y debe ser menor o igual que la pérdida permisible, paso No 2, F-3-4, en el ejemplo la pérdida de carga fue 0.348mca (paso No5 del presente instrumento) y es menor al criterio cuyo valor es 0.6mca (paso No2 del presente), por tanto: $0.348 < 0.6$, el resultado es satisfactorio según el criterio, lo que significa que el diámetro de PVC 1 ½" es adecuada para la conducción.

Paso No 7.

g) Presión necesaria en la salida del cabezal, F-3-4, Paso No7

Este valor se calcula mediante la expresión:

$H_{sc} = H_{dc} + H_f$, donde:

H_{sc} , es la presión necesaria en la salida del cabezal,

H_{do} es la presión necesaria en el origen la tubería de distribución, en nuestro ejemplo fue, $H_{do} = 5.22$ mca., F-3-3 paso No 9.

H_{fc} es pérdida de carga en la tubería de conducción para el ejemplo es: $H_f = 0.348$ mca F-3-4 paso No 5.

Entonces sustituyendo:

$H_{sc} = 5.22 + 0.348 = 5.57$ mca, dato que se ubica en el F-3-4, Paso No 7.

5. F-3-5: Pérdidas en el cabezal

Paso No 1.

a) Pérdida de carga en el filtro (mca).

Este valor proviene del manual de accesorio, en nuestro caso es un filtro de anillos, con presión de operación de 2 mca. El dato se ubica en el F-3-5, Paso No 1.

Paso No 2.

b) Pérdida de carga por el dispositivo fertirriego.

Similar al anterior, la presión de operación se encuentra en el manual del dispositivo, que para nuestro caso es un inyector venturi cuya presión para su funcionamiento es de 5mca. El dato se coloca en F-3-5, Paso No 2.

Paso No 3

c) 3. Pérdida de carga en la Válvula.

Las pérdidas de carga en válvulas se encuentran en la tabla No 6, ahora bien, para conocer el valor de las mismas, ubicamos el valor del caudal de diseño paso No2, F-3-1, en la primera columna de la tabla, que en nuestro ejemplo es $Q= 1.07$ L/s, seguidamente localizamos el grupo de columnas que conforman la zona tipo de válvula, que en nuestro caso es válvula de compuerta, después en dicha zona nos desplazamos a la derecha sobre la fila del caudal seleccionado, hasta encontrar el diámetro de la válvula, que en nuestro caso es $\varnothing 1 \frac{1}{2}$ ". El resultando de esta operación es el valor pérdida carga $H_v = 0.003$ mca. Este dato se coloca en el F-3-5, Paso No 3.

Paso No 4.

d) Pérdida de carga en el cabezal.

La pérdida de carga en el cabezal de riego es la suma de las pérdidas locales de los diferentes accesorios que lo componen, que en este caso son: filtro, inyector venturi y válvula. El valor resultante es $H_{oc} = 7.003$ mca y representa la pérdida de carga en el cabezal de riego.

Paso No5.

e) Presión necesaria en la entrada del cabezal

Finalmente se estima la presión en la entrada del cabezal de riego, lo que se hace con la expresión:

$H_c = H_{oc} + H_{sc} + - Z$; donde:

H_c , es la presión necesaria en la entrada del cabezal (mca).

H_{oc} , es la pérdida de carga en el cabezal, nuestro caso es 7.003 mca (paso No4, F-3-5).

Hsc, es presión de la salida del cabezal 5.57 (mca), paso No 7, F-3-4.

Z, es la diferencia de nivel del terreno que en caso de estudio es 0 m.

Entonces sustituyendo;

$$H_c = 7.003 + 5.57 + 0 = 12.572 \text{ mca.}$$

6. F-3-6: Altura manométrica total.

Paso No 1.

a) Pérdida de carga unitaria en la tubería de la bomba al cabezal.

En nuestro caso según el croquis, la longitud de la bomba al cabezal es de 10m y el tramo de red lo haremos con tubería PVC Ø 1 ½", por dicha tubería pasará un caudal de 1.07 L/s según, vea el F-3-1, Paso No2.

Dado que conocemos el caudal y el diámetro, ahora buscamos el valor de la pérdida de carga en la tabla No 3a, ubicando en la primera columna el caudal, paso No2, F-2-1, con valor aproximado en nuestro caso de 1 L/s, luego buscamos el diámetro, paso No 4, F-3-4, que en nuestro ejemplo es 1 ½", de lo cual resulta un valor de pérdida unitaria $J = 0.0116 \text{ mca/m}$.

Paso No 2.

b) Pérdida de carga desde la bomba al cabezal,.

Seguidamente calculamos H_{f1} , mediante la expresión:

$$H_{f1} = J \times L; \text{ donde}$$

H_{f1} es la pérdida de carga (mca) de la bomba centrífuga ubicada a orillas del pozo al cabezal.

J, pérdida de carga por metro (mca), Paso No1, F-3-6. En nuestro caso, $J = 0.0116 \text{ mca/m}$

L, es la longitud de la tubería (m). Ver croquis, en nuestro caso es 10m.

Resolviendo:

$$H_{f1} = 0.0116 \times 10 = 0.116 \text{ mca, este valor lo ubicamos en el F-3-6, Paso No2.}$$

Paso No 3.

c) 3. Altura manométrica total.

Este valor se obtiene mediante la expresión:

$H_m = H_c + H_{f1} + Z$; donde

H_m , es la altura manométrica total(mca).

H_c = es la presión necesario en la entrada del cabezal, paso No 5, F-3-5, que en nuestro caso es 12.573 mca

H_{f1} = es pérdida de carga de la bomba al cabezal, paso No2, F-3-6, en nuestro caso es 0.116mca.

$Z = 0$ m, es la diferencia de nivel.

Por tanto calculando: $H_m = 12.573 + 0.116 + 0 = 12.689$ mca, aproximadamente 12.69mca.

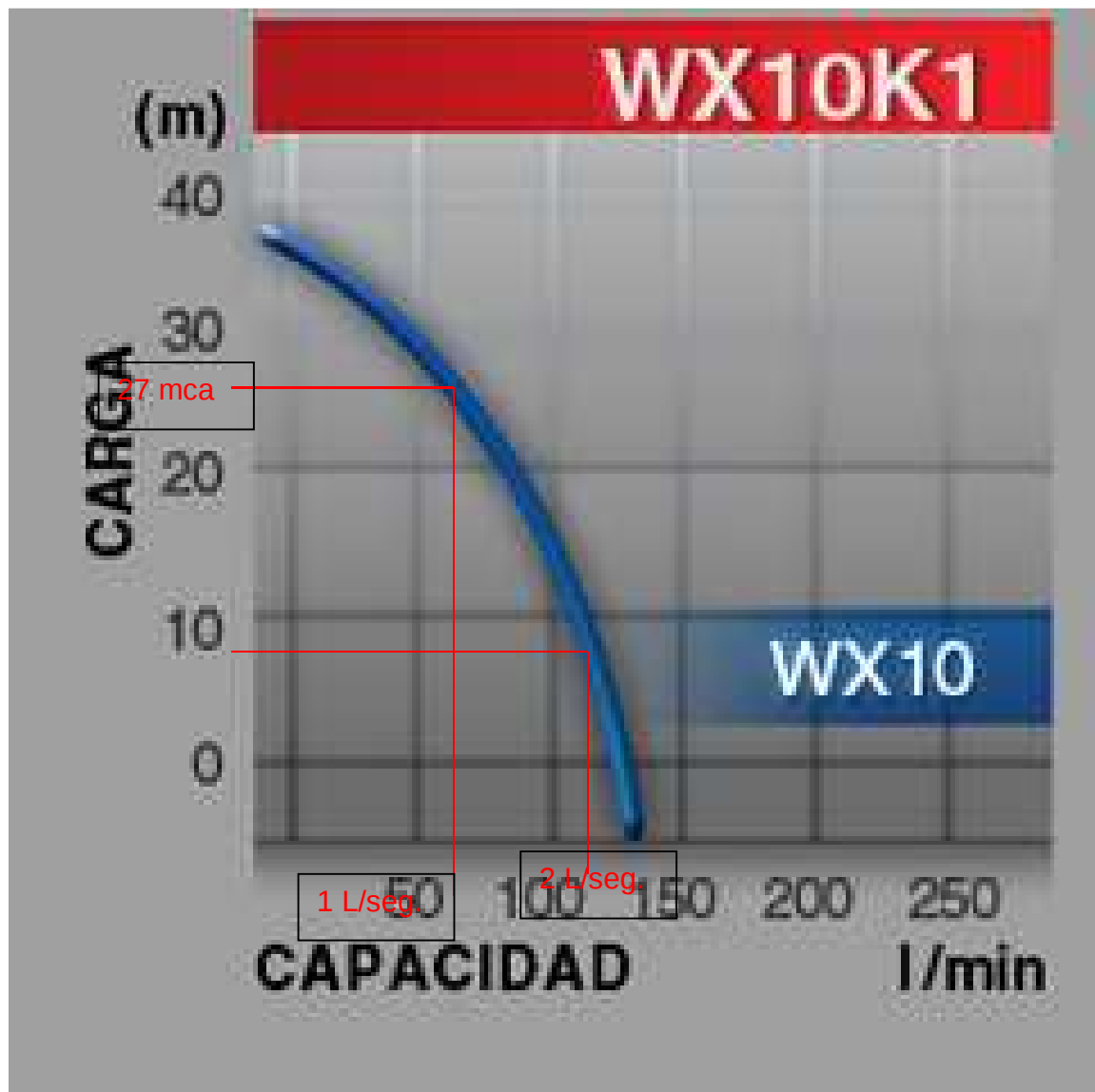
7. Selección de la bomba F-3-7.

Este cuadro es el último del instrumento Fto3, y trata de ayudar a seleccionar una motobomba; para ello se utiliza el Paso No 2, F-3-1, que es el caudal (1.07 L/seg.) El resultado se ubica en paso No 1, F-3-7.

La presión manométrica total, paso No 3, F-3-6, que en nuestro caso es (12.69 mca), se ubica en el paso No 2, F-3-7.

Con los datos anteriores analizamos la curva H-Q, presente en el manual de la motobomba. En nuestro caso resultó una bomba centrífuga portátil HONDA modelo WX10K1, con diámetro de succión y salida de 1". Note que para el caudal de 1 L/s la presión es 27 mca unos 38 PSI, lo que indica que la bomba debe operarse a media aceleración o buscar una más pequeña. Si no se fertirriega la altura manométrica será 7.7 mca, con dicha presión la misma bomba produce 2 L/s, por lo que podríamos regar el doble del área mientras no se fertilice.

Curva H-Q



Fto No 3: DISEÑO DE LA TUBERIA

F-3-1: General

Pasos	Descripción	Valores	Instrumentos a usar
1	Área (Mz)	0.25	Plano o Croquis, Paso 1 Fto No1
2	Caudal de diseño, Q L/s	1.07	Dato está en Paso 10 del Fto No 2
3	Caudal emisor, Ty –tape TSX 508-30-340, q L/h,	1	Dato del Paso 16 del Fto No 1
4	Distancia entre emisores, de (m)	0.30	Dato del Paso 17 del Fto No 2
5	Distancia entre laterales, dl (m)	1.5	Dato del Paso 14 del Fto No 1
6	Longitud lateral (m)	48	Plano o Croquis
7	Longitud Tubería distribución (m)	17	Plano o Croquis
8	No Emisores	$= 48 / 0.30$ $= 160$	Longitud Lateral entre Distancia entre emisores (de). Datos en los Pasos 6 y 4 de este cuadro.
9	No Laterales	$= 17 / 1.5 =$ 11	Longitud distribución/Distancia entre laterales (dl). Datos en los Pasos 7 y 5 de este cuadro. Vea el croquis para longitud.

F-3 -2: Diseño del Lateral

Pasos	Descripción	Valores	Instrumentos a usar
1	Presión de Operación, Po (mca)	5	Manual de Cinta
2	Diámetro Nominal (mm)	16	Manual de Cinta
3	Criterio diseño (mca)	1	0.2 multiplicado por la Presión de Operación (Po)
4	Criterio diseño lateral (mca)	0.55	Criterio de diseño multiplicado por 0.55
5	Caudal del lateral, Q L/h	170	Tabla No 1: diámetro lateral, caudal emisor, distancia emisores y longitud lateral.
6	Pérdida de Carga en el lateral, Hfl (mca)	0.1406	Tabla No 1.
7	Evaluación del Paso	aceptado	El valor debe ser igual o menor al criterio.
8	Presión necesaria en el origen del lateral, $H_{lo} = H + 0.77 \times h_{fl} + \frac{dZ}{2}$	$5 + 0.77 \times 0.1406 + 0 = 5.11$	

F-3-3: Diseño de la Tubería Distribución PVC

Pasos	Descripción	Valores	Instrumentos a usar
1	Criterio diseño tubería distribución. Crd= Cr-hfl donde; donde: (Cr) Criterio de diseño, hfl es la pérdida de carga del lateral.	$Crd=1- 0.1406$ $= 0.8594 \text{ mca}$	Instrumento F-3-2, paso No 3, al dato obtenido se le resta la pérdida de carga del lateral, dato que se encuentra en paso No6, Instrumento F-3-2.
2	Caudal Tubería distribución (L/s), Q = No Laterales x caudal del lateral /3,600.	$Q= 1 \times 170$ $=204/3600$ $=0.52$	Paso 9 del F-3-1 multiplicado por el caudal del lateral (Ql), Paso 5 del F-3-2, dividido entre 3,600, resulta el caudal de la tubería de distribución.
3	Chisthiansen (F)	0.404	Tabla No 5, So=S, buscar el dato que corresponda a: m=180 y N que es número de Laterales, para el ejemplo es, N=11, este dato está en Paso 9 del F-3-1.
4	Estimación de J	$J = 0.8594/17/$ 0.404 $=0.1251 \text{ mca/m}$	Crd=Hfd; $J = \text{hfd}/L/F$ donde; J, es el valor de la pérdida de carga (mca) por metro de tubería. hfd, es la pérdida de carga a lo largo de la tubería de distribución. L, es la longitud de la tubería. F, factor Chisthiansen.
5	Diámetro de la tubería.	Ahora con el valor de J y el de Q, buscamos el diámetro en la tabla No 3a, con los siguientes datos: $Q = 0.52 \text{ l/s};$ ajustado a 0.50 $J=0.1251$ Valor encontrado en la tabla 3a: Diámetro = 1 Pulgada, Cuando J=0.0213	Instrumento Tabla No3a. El diámetro de la tubería se busca en la tabla No 3a, para lo cual se usa el valor de caudal paso No 5, F-3-2 y la pérdida de carga por metro (J), dato que está en paso no 4 (F-3-3).
6	Pérdida de carga en la tubería de distribución. $Hfd= J \times L \text{ (m)}$	$Hfd= 0.0213 \times$ $17\text{m} =0.3621 \text{ mca}$	EL valor (J) del Paso 4, se multiplica por la longitud de la tubería paso 7 F-3-1 y así se obtiene la pérdida de carga de tubería de distribución.
7	Pérdida de carga en la tubería de distribución tomado en cuenta las salidas de laterales $Hfd'(\text{mca}) = Hfd \times F$ (Christiansen)	$Hfd'=0.3621$ $\times 0.404= 0.1462$ mca	El Paso 6 (Hfd) y el Paso 3 (F) del presente cuadro se multiplican.

8	Evaluación del Paso	$0.1462 < 0.8584$ Aceptado	El valor H_{f1} paso no 6 del presente instrumento debe ser igual o menor al criterio de diseño de la tubería de distribución, paso no 1 del este instrumento.
9	Presión en el origen de la tubería de distribución. $H_{do} = H_{lo} + 0.77 \times h_{fd'} + \frac{dZ}{2}$	$H_{do} = 5.11 + 0.77 \times 0.1462 = 5.22$ mca.	H_{lo} , dato que se encuentra en el instrumento F-3-2, paso No8. Y $H_{fd'}$ se encuentra en presente instrumento paso no 7.

F-3- 4: Tubería Conducción PVC

Pasos	Descripción	Valores	Instrumentos a usar
1	Longitud tubería de conducción (m)	30	Plano o Croquis
2	Criterio de diseño de la tubería de conducción (mca)	0.6 mca	2% de la longitud o velocidad no menor a 2.5 m/seg.
3	Pérdida de Carga (J) en 1 metro de tubería,(mca)	$J = 0.02$ mca	Se divide la pérdida de carga cuyo valor está en paso No 2 del presente instrumento, entre la longitud de la tubería, dato que está en el paso No 1, este instrumento.
4	Diámetro de la tubería de conducción (pul)	El valor en 1 ½ " PVC con pérdida de carga $J = 0.0116$ mca para un caudal de 1 L/s.	En la tabla No 3, se busca en la primera columna el caudal de diseño, F_{to2} paso No 10, y a la derecha se busca el valor mas próximo a pérdida de carga (J), dato del paso No 3, F-3-4. Luego se busca en el encabezado de la columna el diámetro de la tubería.
5	Pérdida de Carga en tubería de conducción, H_{fc} (mca). $H_f = J \times L$ (m)	$= 0.0116 \times 30 = 0.348$ mca	Se multiplica el valor J del Paso No 4, F-3-4 por la Longitud de la tubería conducción, que está en el paso No 1. F-3-4.
6	Evaluación del Paso No 5. El valor de la pérdida de carga H_{fc} debe ser menor al criterio.	$0.348 < 0.6$, Aceptado	La pérdida de carga en tubería de conducción, Paso No 5 F-3-5, debe ser menor o igual al valor criterio de diseño de la tubería, Paso No2, F-3-4.
7	Presión necesaria en la salida del cabezal: $H_{sc} = H_{do} + H_{fc}$.	$H_{sc} = 5.22 + 0.348 = 5.57$ mca	H_{do} , dato del instrumento F-3-3 paso No 9 y H_{fc} dato del paso No 5 del presente instrumento.

F-3-5: Pérdidas en el Cabezal

pasos	Descripción	Valores	Instrumentos a usar
1	Pérdida de carga en el filtro (mca)	2	Manual del filtro seleccionado
2	Perdida de carga en por el dispositivo fertirriego (mca)	5	Manual del dispositivo
3	Pérdida de carga en la Válvula (mca)	0.003	Utiliza la tabla No 6, el dato de caudal paso No 2, F-3-1 y diámetro y tipo de válvula, paso No4, F-3-4.
4	Perdida de carga en el cabezal (mca), Hoc	7.003	Suma de las pérdidas locales de los pasos No 1, 2 y 3 del presente instrumento, en nuestro caso corresponden a: Filtro, inyector venturi y válvula.
5	Presión necesaria en la entrada del cabezal (mca), $H_c = H_{oc} + H_{sc} + Z$	$H_c = 7.003 + 5.57 + 0 = 12.573$	Los datos vienen de paso No 4 del presente instrumento y paso No 7 del instrumento F-3-4.

F-3-6: Altura manométrica total

Pasos	Descripción	Valores	Instrumentos a usar
1	Pérdida de carga unitaria (J) de la tubería de la bomba al cabezal.	$J = 0.0116$ mca/m.	Caudal diseño, F-3-1, Paso No2, diámetro de la tubería F-3-4, Paso No4. y la Tabla No 3 buscamos el valor J.
2	Pérdida de carga desde la bomba al cabezal (Hf1). $Hf1 = J \times L$	$Hf1 = 0.0116 \times 10 = 0.116$ mca	Pérdida unitaria (J) Paso No1 del presente instrumento y plano con longitudes de tuberías.
3	Altura manométrica total (mca): $Hm = Hc + Hf1 + Z$	$Hm = 12.573 + 0.116 + 0 = 12.689$ mca	Hc, datos del paso No 5, F-3-5 y Hf1 del paso No 2, F-3-6.
4	Convertir a libras por pulgada cuadrada (PSI)	$12.69 \times 1.42 = 18.02$ PSI	Multiplicar el Paso 3 por 1.42
5	Convertir a Atmósfera (atm)	$12.68 / 10.33 = 1.23$ Atm	Dividir el Paso 3, dividir entre 10.33

F-3-7: Selección de la bomba

	Descripción	Valores	Instrumentos a usar
1	Caudal de diseño, Q L/s	1.07	Este dato está en Paso 2 cuadro F-3-1.
2	Altura manométrica total (mca)	12.69	Este dato está en Paso 3 del cuadro F-3-6
3	Tipo de bomba y modelo	WX10K1	Manual de la bomba: Curva H-Q, donde H (mca) es igual o cercano a la presión de salida de la bomba, cuando el caudal es igual o parecido al caudal de diseño, en el punto óptimo de operación de la bomba.
4	Diámetro de succión (pul)	1"	Manual de la Bomba
5	Diámetro de salida (pul)	1"	Manual de la Bomba