



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

SEDE AZOGUES

**INFORME FINAL DEL PROYECTO PROFESIONAL DE GRADO
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL GRADO ACADEMÍCO DE
INGENIERO CIVIL**

TEMA:

**TECNIFICACIÓN DEL RIEGO PARCELARIO MEDIANTE LA
APLICACIÓN DE HOJAS EN EXCEL.**

AUTOR:

Wilson Javier Campoverde Bautista.

TUTOR:

Ing. Paúl Esteban Illescas Cárdenas

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo de grado, presentado por el Sr. **Wilson Javier Campoverde Bautista** para optar por el título de **INGENIERO CIVIL**, doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Azogues, a los 26 del mes de febrero del 2018.

Firma:



Ing. **Paúl Allecás Cárdenas**

0301531653

CERTIFICADO DE AUTORIA

El presente trabajo investigativo de proyecto profesional de grado previo a la obtención del título de INGENIERO CIVIL, cuyo tema es **“TECNIFICACIÓN DEL RIEGO PARCELARIO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE HOJAS EN EXCEL”** corresponden al trabajo de investigación del autor, además certifico que he cumplido con todas las observaciones realizadas por el tribunal de evaluación.

Estudiante:



Wilson Javier Campoverde Bautista

0301547287

AGRADECIMIENTO

Mi más sincero agradecimiento hacia Dios por haberme guiado por el camino correcto, por brindarme salud y vida para poder cumplir esta meta, a mis padres por haberme apoyado en todo momento para alcanzar mis logros propuestos.

Muchas gracias a mi familia y amigos en general por estar a mi lado brindándome su apoyo en el transcurso de mi vida estudiantil y personal.

Gracias al Ing. Paúl Illescas por sus importantes aportes, comentarios y sugerencias, por su tutoría y sobre todo su gran paciencia

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a toda mi familia, de manera especial a mis padres Wilson y Mercedes, por haberme brindado su apoyo y buenos consejos en todo momento, por ser los pilares fundamentales en mi vida y haber velado por mí en el transcurso de mi preparación como profesional.

A Dios por haber estado junto a mí en cada momento, cuidándome en cada paso que doy y dándome fuerzas para continuar.

A mi novia, por estar siempre a mi lado brindándome su apoyo y confianza, sin dudar en mi inteligencia y capacidad.

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo principal contribuir en la tecnificación del riego parcelario por medio de programación en Excel, para brindar una ayuda técnica en lo referente a diseño de sistemas de riego utilizados en la Provincia del Cañar, los mismos que serán a gravedad y presurizados.

Se deberá determinar los sistemas más usados y así elaborar una hoja de cálculo debidamente estructurada, en la que se encontrará factores referentes a la Provincia del Cañar, como lo son: el tipo de suelo, pendientes del terreno, y cultivo, todos estos factores se analizarán en su valor crítico para el diseño de los diferentes sistemas.

El presente trabajo se encuentra enfocado plenamente en el diseño técnico de los sistemas de riego, logrando una agilización en la obtención de datos para el diseño de estos, y de alguna manera lograr una mayor utilización de métodos de riego en las parcelas, mejorando la forma en la que se utiliza el agua para la producción agrícola.



CENTRO DE IDIOMAS

ABSTRACT

The main objective of this project is to contribute to the technification of irrigation by means of Excel programming, to provide technical assistance in the design of the irrigation systems used in the Province of Cañar; these designs are based on gravity and pressurized.

The most used systems are determined and a properly structured spreadsheet is developed, in which it is found factors relating to the Province of Cañar such as: the type of soil, slopes of the land, and cultivation. All these factors are analyzed through their critical value for the design of the different systems.

This work is fully focused on the technical design of irrigation systems, achieving an acceleration in obtaining data for a proper design, and in some way, and accomplishing an development in the use of methods of irrigation in the plots, improving the way the water is used for agricultural production.

Azogues, 26 de febrero de 2018

EL CENTRO DE IDIOMAS DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA SEDE AZOGUES, CERTIFICA QUE EL DOCUMENTO QUE ANTECEDE FUE TRADUCIDO POR PERSONAL DEL CENTRO PARA LO CUAL DOY FE Y SUSCRIBO.


LCDA. GABRIELA ESTRELLA G. MST.
COORDINATOR



ÍNDICE

PAGINAS PRELIMINARES

Aprobación del Tutor.....	I
Certificado de Autoría.....	II
Agradecimiento.....	III
Dedicatoria.....	IV
Resumen.....	V
Abstract.....	VI
Índice general de contenidos.....	VII
Introducción.....	XII
Delimitación del problema.....	XII
Objetivos.....	XIV

Capítulo 1

FUNDAMENTACION TEORICA

1.1 RIEGO PARCELARIO.....	1
1.2 SISTEMAS DE RIEGO.....	2
1.2.1 Riego por gravedad.....	2
1.2.1.1 Riego por surcos.....	2
1.2.1.2 Riego a mantas.....	3
1.2.1.3 Riego por inundación.....	3
1.2.2 Riego presurizado.....	3
1.2.2.1 Riego por aspersión.....	3
1.2.2.2 Riego por goteo.....	4
1.3 LA EVAPOTRANSPIRACION.....	4

1.4 DISPONIBILIDAD DE AGUA EN EL SUELO.....	4
1.4.1 Patrón de distribución de las raíces.....	5
1.4.2 Láminas de riego.....	6
1.4.2.1 Lámina de agua aprovechable.....	6
1.4.2.2 Lámina de agua rápidamente aprovechable.....	8
1.4.2.3 Lamina bruta o lamina total de riego.....	8
1.4.2.4 Lamina neta.....	8
1.5 INFILTRACION DEL AGUA.....	9
1.5.1 Velocidad de infiltración.....	9
1.5.2 Infiltración acumulada o ecuación de infiltración.....	10
1.6 EFICIENCIA DE RIEGO.....	10
1.6.1 Eficiencia de aplicación.....	11
1.7 ECUACIONES DEL FLUJO BASICO.....	11
1.7.1 Ecuación de Manning.....	12
1.8 PERIODOS DE RIEGO.....	12
1.8.1 Periodo de avance.....	12
1.8.2 Reposición de agua al suelo.....	13
1.8.3 Retiro del agua.....	13

Capítulo 2

DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE RIEGO A GRAVEDAD

2.1 Diseño del Riego por Surcos.....	14
2.1.1 Factores de diseño.....	14
2.1.2 Caudal de los surcos.....	16
2.2 Procedimiento de diseño.....	16
2.2.1 Calculo del riego por surcos.....	16

2.2.2	Diseño de la distribución del sistema de riego.....	19
2.3	Ejercicio de diseño por surcos.....	21
2.3.1	Calculo de parámetros técnico.....	25
2.3.2	Distribución del sistema de riego.....	27
2.3.3	Estimación de la eficiencia de riego.....	32
2.4	Diseño de riego por melgas.....	35
2.4.1	Aspectos generales.....	35
2.4.2	Caudal y longitud recomendada.....	37
2.4.3	Variantes del método de riego.....	37
2.4.4	Caudal a aplicar.....	38
2.4.5	Ancho de la melga.....	39
2.4.6	Altura de los bordes.....	40
2.5	Ejercicio de diseño por melgas.....	41
2.5.1	Datos preliminares.....	41
2.5.2	Desarrollo.....	42

Capítulo 3

DISEÑO DE SISTEMAS DE RIEGO PRESURIZADOS

3.1	Diseño del riego por aspersión.....	46
3.1.1	Componentes del equipo de riego.....	46
3.1.2	Selección del tipo de aspersor.....	48
3.1.2.1	Disposición de los aspersores.....	48
3.1.2.2	Distanciamiento entre aspersores.....	48
3.1.2.3	Selección del tipo de aspersor.....	49
3.1.3	Perdida de carga en tuberías.....	51
3.1.3.1	Ecuaciones para el cálculo de la perdida de carga.....	51

3.1.3.2 Perdida de carga en tuberías con varias salidas.....	53
3.1.4 Diseño de laterales de aspersión.....	54
3.1.4.1 Distribución de presiones en un lateral de riego.....	54
3.1.4.2 Selección del diámetro lateral.....	56
3.1.5 Diseño de la tubería principal.....	57
3.1.5.1 Tuberías de PVC.....	57
3.1.5.2 Selección del diámetro del principal.....	58
3.1.6 Selección del equipo moto – bomba.....	58
3.1.6.1 Calculo de la carga dinámica total.....	58
3.1.6.2 Calculo de la potencia de la bomba.....	59
3.1.6.3 Selección e instalación del grupo motobomba.....	60
3.1.7 Aspersión semifija.....	61
3.1.8 Ejercicio de diseño por aspersión.....	62
3.1.8.1 Calculo de los parámetros técnicos.....	64
3.1.8.2 Selección del tipo de aspersor.....	65
3.1.8.3 Diseño del sistema de riego.....	68
3.1.8.4 Diseño hidráulico.....	71
3.1.8.5 Calculo de la motobomba.....	77
3.2 Diseño de riego por goteo.....	81
3.2.1 Componentes de un sistema de riego por goteo.....	81
3.2.1.1 Fuente de energía.....	82
3.2.1.2 Cabezal de control.....	82
3.2.1.3 Red de tuberías.....	82
3.2.1.4 Goteros o emisores.....	82
3.2.1.5 Dispositivos de control.....	83

3.2.2 Criterios de selección de los goteros.....	83
3.2.2.1 Ecuación del gotero.....	83
3.2.3 Generalidades en el diseño del riego por goteo.....	84
3.2.3.1 Diseño agronómico.....	84
3.2.3.2 Diseño geométrico.....	85
3.2.3.3 Diseño hidráulico.....	86
3.2.3.3.1 Uniformidad de emisión en el diseño.....	86
3.2.3.3.2 Variación de carga permisible.....	87
3.2.4 Ejercicio de diseño por goteo.....	88
3.2.4.1 Desarrollo.....	90
3.2.4.2 Diseño hidráulico.....	93
3.2.4.3 Tuberías laterales.....	94
3.2.4.4 Tuberías múltiples.....	98
3.2.4.5 Tubería principal.....	101
3.2.4.6 Cálculo de la motobomba.....	103
Capítulo 4	
4.1 Conclusiones.....	104
4.2 Recomendaciones.....	105
4.3 Bibliografía.....	106

I. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso sumamente importante para el desarrollo de los cultivos y economía agrícola, sin embargo, muchos productores riegan sus terrenos a sembrar basados en experiencias empíricas, esto tiene como consecuencia, una baja eficiencia de riego, provocando un mal suministro de agua a las parcelas y baja productividad; para enfrentar este problema y ayudar a la optimización del agua, existen los sistemas de riego, estos utilizan la aceleración de la gravedad o la presión obtenida mediante una bomba para entregar dicho recurso a los cultivos de una manera precisa.

Un sistema de riego correctamente diseñado ayuda a mejorar la hidratación en la planta, para esto es necesario que el sistema se construya conforme a las necesidades del tipo de cultivo a sembrar, estas proporcionarán los parámetros necesarios para el correcto diseño del sistema.

En el caso de la Provincia del Cañar, al ser un sector agrícola, se deberá manejar condiciones del tipo de suelo, pendiente y la necesidad hídrica del cultivo.

Se pretende optimizar el uso del agua, por medio de la aplicación de métodos de diseño para riego parcelario, para esto se debe cumplir ciertos requisitos como lo son:

- Se deberá utilizar el cultivo que presente los casos más desfavorables para cada sistema de riego y así obtener sus datos y determinar los parámetros de diseño.
- Determinar los diferentes suelos existentes en la Provincia del Cañar, relacionándolos con los sistemas de riego que se emplean, y así obtener los datos y criterios necesarios.

Para lograr dicha optimización, se pretende desarrollar hojas de cálculo para los diferentes sistemas de riego tanto a gravedad como presurizados y describir su correcto uso, tratando de lograr un fácil entendimiento y manejo.

Los resultados que se esperan en el presente trabajo son agilizar los cálculos de diseño en sistemas de riego.

II. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

El riego en sí es un método que ayuda aprovechar el agua utilizada en los cultivos, en muchas zonas no existen sistemas adecuados que permitan a los usuarios disponer correctamente de este recurso o simplemente carecen de conocimiento sobre los métodos de riego.

Existen diferentes tipos de sistemas de riego para el desarrollo de este trabajo, se diseñarán los sistemas que se utilizan en la provincia:

Gravedad. – El agua se mueve por su propio peso a lo largo de un terreno con pendiente.

Se diseñará a mantas por el método de la inundación, y también por el método de surcos.

Presurizados. – El agua se entrega al cultivo a través del aire en forma de lluvia. Se diseñará por aspersion el método móvil y semimovil, por localización el método de goteo.

Para este estudio se pretende brindar un apoyo en el procedimiento de diseño por medio de hojas de cálculo.

En lo referente al riego parcelario, se deberá realizar conforme a las necesidades más desfavorables.

- Tipo de cultivo.
- Tipo de suelo.
- Tipo de aspersor para el diseño presurizado.
- Rango de pendiente para el diseño a gravedad.

Los rangos de pendiente a manejarse están, entre el 0-50% de inclinación para sistemas presurizados, ya que estos son conducidos por tuberías, y de 0-12% de inclinación para sistemas a gravedad. Estas son las pendientes críticas en las que un sistema de riego funciona adecuadamente, si dichas pendientes son mayores a las indicadas la producción en las plantaciones sería irregular ya que la planta no tendrá un consumo de agua uniforme.

En los sistemas presurizados, necesitarán aspersores y goteros según el método a diseñar, estos contarán con tablas y catálogos para facilitar los datos necesarios para su realización.

III OBJETIVOS

GENERAL

Contribuir a la tecnificación de los sistemas de riego en la Provincia del Cañar, por medio de la aplicación de hojas de cálculo basadas en métodos de diseño para riego parcelario, utilizando datos críticos para su desarrollo.

ESPECÍFICOS

- Determinar un cultivo crítico para cada sistema de riego, en cual su parámetro sean los más desfavorables; para asegurar una correcta eficiencia y resultados favorables para el diseño.
- Determinar los tipos de suelo existentes en la provincia, obteniendo datos y criterios necesarios para el correcto desarrollo de los sistemas de riego.
- Identificar los tipos de sistemas de riego tanto a gravedad y presurizados más utilizados en la Provincia, y así saber cuáles serán diseñados.
- Programar los diferentes sistemas de riego y describir su correcto uso, por medio del software Excel.

Capítulo 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.1 RIEGO PARCELARIO

El riego se define como la aplicación artificial de agua a las parcelas o terrenos de los diferentes beneficiarios con el fin de otorgar a los sembríos y cultivos la suficiente humedad para que estos puedan desarrollarse, en las sequías de corta duración se podrá asegurar las cosechas, mejorar las condiciones ambientales para el desarrollo vegetal por medio de la refrigeración del suelo y de la atmosfera, reduce en un alto nivel la formación de drenajes naturales, y ayuda a disolver las sales contenidas en el suelo. (Leitón. (1985). Riego y Drenaje. Recuperado de [http:// books.google.com](http://books.google.com).)

La incorporación del riego parcelario tecnificado ayuda en el desarrollo del sector agrícola, en los pequeños y medianos campesinos, por medio de la implementación de estos sistemas, los agricultores podrán administrar la humedad necesaria a sus cultivos para que estos se desarrollen correctamente, y asegurar una reserva de agua para todo el ciclo de cultivo.

El riego parcelario según los datos proporcionados por el GAD de la Provincia del Cañar, determinan que el 90% de los sistemas de riego se realizan por gravedad, produciendo erosión del suelo, conflictos sociales, desperdicios de agua, entre otros.

Es necesario motivar para que se implementen nuevos métodos de riego en la Provincia del Cañar conforme a la realidad de cada territorio, un claro ejemplo de estos es el riego por aspersión el cual tiene un menor costo y mayor eficiencia de aplicación. La eficiencia de los métodos a gravedad corresponde el 40%, mientras que con el riego por aspersión es del 70% y el riego localizado de 90%.

Es necesario la implementación de estos dos últimos métodos de riego, para optimizar el agua, que es cada vez más escaso en la Provincia del Cañar.

1.2 SISTEMA DE RIEGO

“Es la manera o forma de poner el agua a la parcela para que sea aprovechada por las plantas. Se dice también que es el conjunto de obras que permiten que una determinada área sea cultivada con la entrega del agua necesaria para las plantas”. (Cadena,2014, p.120).

Todo método de riego siempre va a depender del lugar de trabajo.

“Lo importante es saber cuál de estos métodos es mejor en nuestro clima, terreno, cultivos, esto lo podremos saber conociendo las ventajas o desventajas de los métodos de riego. El método o sistema de riego que pongamos en nuestro terreno va a permitir ahorrar agua y regar de mejor manera nuestros cultivos”. (Cadena,2014, p.120).

1.2.1 Riego por gravedad

“El riego superficial por gravedad se caracteriza por distribuir el agua sobre la superficie del suelo, debido a la acción de la fuerza gravitacional. Según como la superficie del suelo sea cubierta por el agua, surgen diferentes métodos de riego por superficie: surcos, melgas, pozas, riego por desbordamiento, etc.”. Vásquez A, Vásquez I, Vásquez C y Cañamero (2017).

1.2.1.1 Riego por surcos

En este sistema el agua fluye por pequeñas causes, mojando solo una parte del terreno. El concepto que describe dicho sistema es el siguiente:

El riego por surcos es tan antiguo como la agricultura misma y el agua corre a lo largo de zanjas o surcos paralelos entre las hileras de los cultivos aprovechando la fuerza de gravedad, es decir que en este método de riego el agua se desliza siguiendo la pendiente sin requerir de energía extra para su movimiento. Este riego puede ser ocasional o suplementario cuando se lo hace en la estación lluviosa y

esta no cubre las necesidades del cultivo; puede ser permanente cuando se realiza en época de verano. (Maldonado, 2001, p.25)

1.2.1.2 Riego a mantas

El agua escurre a través de canales muy anchos, comprendidos entre 5 y 20m., inundando totalmente la superficie del terreno. El flujo escurre en láminas entre 5 y 15 cm., con un caudal que puede variar entre 10 y 100 l/s. (Cadena, 2012, p.192)

1.2.1.3 Riego por inundación

En este sistema el agua es distribuida por medio de la gravedad sobre el terreno, corre por canales que parecen cajones, para su correcto funcionamiento “se llena la franja de terreno con bastante agua, para que entre en el suelo. El terreno tiene que ser plano o nivelado. Se utiliza principalmente para el cultivo del arroz, casi no se usa para hortalizas y pastos.” (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y pesca, 2014, p.5)

1.2.2 Riego presurizado

Este método se caracteriza por tener un sistema de distribución del agua a presión, se trata de un sistema de riego mecanizado según Vásquez A et al. (2017) este método asegura un control exacto de la cantidad de agua que se debe aplicar al cultivo, logrando una correcta adaptación a cualquier condición como puede ser tipo de suelo, clima y topografía. Los sistemas de riego aspersión y microaspersión se encuentran entre los principales métodos de riego presurizados, debido a su gran eficiencia en la entrega de agua a la planta.

1.2.2.1 Riego por aspersión

Generalmente este método de riego entrega el agua al cultivo por medio de aspersores, simulando una lluvia natural, según Cadena (2014) el agua entregada al cultivo se puede controlar tanto en cantidad como duración, así como el día en la que esta sea necesaria,

este tipo de riego es eficiente ya que puede ser útil para todo tipo de suelo y clima, en los cultivos existen algunas restricciones.

1.2.2.2 Riego por goteo

Funciona con goteros, los cuales proporcionan un pequeño y constante caudal, estos “humedecen la tierra alrededor de las raíces, con este método se proporciona el agua necesaria cercana a la planta que optimiza la humedad dejando muy poco a la evaporación”. (*Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y pesca*, 2014, p.5)

1.3 LA EVAPOTRANSPIRACION

Sirve para determinar la cantidad de agua que hay que reponer al suelo mediante el riego, específicamente es el requerimiento de agua por parte de las plantas; para el cálculo de este factor es necesario conocer diferentes factores climáticos y ecuaciones.

Para el presente trabajo no se profundizará sobre el tema ya que este es un asunto plenamente agronómico, sin embargo, la evapotranspiración es necesaria para el cálculo de diversos factores de suma importancia para el desarrollo de los sistemas de riego.

1.4 DISPONIBILIDAD DE AGUA EN EL SUELO

Existen 2 conceptos a destacar: capacidad de campo y marchites permanente.

- **Capacidad de campo (CC).** - Se define como la máxima capacidad de retención en condiciones de libre drenaje, luego de haber desaparecido el escurrimiento superficial del agua. La CC se alcanza, según el tipo de suelo, entre 24 y 72 horas; es decir, 1 día para suelos livianos (arenosos), y 2-3 para suelos pesados (arcillosos). Este factor se obtiene en campo mediante determinaciones periódicas del contenido de humedad del suelo. (Maldonado,2001, p.6).
- **Marchites permanente (MP).** - Es el contenido de humedad del suelo al cual las plantas experimentan marchites irreversible. El punto a MP corresponde al límite

inferior del agua disponible. El valor de MP puede terminarse en laboratorio por métodos biológicos. (Maldonado,2001, p.7).

Los valores correspondientes a CC y MP se determinan en laboratorio, este es un dato facilitado por el ingeniero agrónomo.

1.4.1 Patrón de distribución de raíces

Una característica importante para el riego es la profundidad o espesor del suelo, ya que mientras más profundo sea este las raíces de la planta se extenderán más, afirmará mejor a la planta y esta almacenará mayor cantidad de agua; el cultivo no tendrá problemas al ser arado o nivelado. La profundidad del suelo siempre depende de la especie que se va a cultivar.

Como lo menciona Maldonado (2001) “Para efectos de programación del riego, es necesario conocer la profundidad a la cual las raíces extraen agua del suelo. El patrón típico de distribución de raíces de un cultivo se asemeja a la de un triángulo equilátero invertido, tal como se muestra en la imagen 1. Según esta imagen, el 70% de la humedad extraída por el cultivo proviene de un medio superior de la zona radicular ($2/4$); por eso se considera como profundidad efectiva entre 70 y 80% de la profundidad de las raíces (un valor practico es 70%)”.

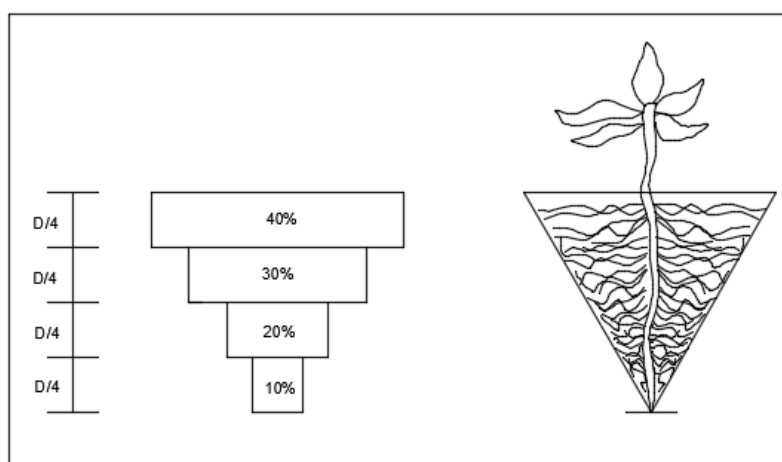


Imagen 1. Patrón típico de extracción de humedad de un cultivo. Copyright 2001 por Temístocles Maldonado R. Manual de Diseño de Métodos de Riego (2001)

La profundidad de enraizamiento de los cultivos crece en función del tiempo, de acuerdo con la siguiente ecuación.

$$Dx = 1.8 \left(\frac{t}{tc} \right) \left(1.5 - \frac{t}{tc} \right) D \quad (1)$$

Donde:

Dx = variación de la profundidad radical, (mtrs)

t = tiempo al que se desea conocer D , (días)

tc = tiempo que dura el ciclo vegetativo, (días)

D = profundidad total de las raíces del cultivo, (mtrs)

1.4.2 Láminas de riego

Se define como lamina de riego a la cantidad de agua que un riego necesita para poder elevar su contenido de humedad de su zona radicular.

Según Cadena (2012), la lámina de riego es la cantidad de agua que se aplica en cada riego por cada unidad de superficie.

1.4.2.1 Lámina de agua aprovechable (LAA). - Esta se refiere al agua disponible en el perfil del suelo para uso consuntivo¹ de las plantas. Para calcular este factor se utilizará la siguiente formula.

$$LAA = (CC - MP) * Da * D \quad (2)$$

Donde:

LAA = lámina de agua aprovechable, mm

CC = contenido de humedad a capacidad de campo, (decimal)

MP = contenido de humedad a marchitez permanente, (decimal)

Da = densidad aparente del suelo, (adimensional)

D = profundidad de las raíces, (mm) (tabla 2)

¹ Consuntivo. - Que tiene la propiedad de consumir.

Tabla 1

Valores de la densidad aparente para los tipos de suelo.

Tipo de suelo	Da, gr/cm
Arenoso	1.50 a 1.65
Arcilloso	1.20 a 1.25
Franco	1.35 a 1.45

Manual de Diseño de Métodos de Riego. (2001). Densidad aparente para tipos de suelo, febrero 2001 [Tabla].

Tabla 2

Profundidad de las raíces

Cultivo	Profundidad (mts)	Cultivo	Profundidad (mts)	Cultivo	Profundidad (mts)
Aguacate	0.8 – 1.2	Col y Coliflor	0.6 – 0.7	Patata	0.4 – 0.8
Alcachofa	0.6 – 0.9	Esparrago	1.2 – 1.8	Pepino	0.5 – 0.8
Alfalfa	1.2 – 2.2	Espinaca	0.4 – 0.6	Peral	0.7 – 1.2
Algodón	0.8 – 1.8	Fresa	0.2 – 0.3	Pimiento	0.4 – 0.8
Almendro	0.8 – 1.2	Frejol	0.5 – 0.9	Piña	0.4 – 0.6
Arveja	0.5 – 0.9	Girasol	0.9 – 1.8	Plátano	0.9 – 1.2
Avena	0.6 – 1.1	Lechuga	0.2 – 0.4	Pastos	0.6 – 1.0
Berenjena	0.5 – 1.0	Leguminosas de grano	0.5 – 1.0	Remolacha	0.5 – 1.0
Camote	0.6 – 0.9	Maíz grano	0.8 – 1.2	Sandia	0.6 – 0.8
Café	0.9 – 1.2	Maíz tierno	0.6 – 1.0	Soya	0.6 – 1.0
Caña de azúcar	1.0 – 1.2	Maní	0.9 – 1.0	Sorgo	0.6 – 0.9
Cebada	0.6 – 1.0	Manzano	0.9 – 1.2	Tabaco	0.5 – 0.9
Cebolla	0.3 – 0.6	Melocotón	0.8 – 1.1	Tomate	0.5 – 1.1
Cerezo	0.8 – 1.2	Melón	0.7 – 1.0	Trébol	0.7 – 0.9
Ciruelo	0.9 – 1.0	Nogal	1.0 – 1.2	Trigo	0.6 – 1.1
Cítricos	1.2 – 1.5	Olivo	0.9 – 1.2	Uva	0.8 – 0.9
Clavel	0.3 – 0.4	Palmera	0.7 – 0.9	Zanahoria	0.4 – 0.5

Hablemos de Riego. (2012). Profundidad efectiva de las raíces de algunos cultivos, enero 2012 [Tabla].

1.4.2.2 Lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA). - Se refiere a la cantidad de agua que la planta a consumido, durante dos riegos consecutivos. Según Maldonado (2001), que para aplicar el siguiente riego no se deberá permitir un agotamiento total del agua que el suelo dispone.

$$LARA = p * (CC - MP) * Da * D \quad (3)$$

Donde:

p = porcentaje de agotamiento (tabla 3)

Tabla 3

Porcentaje de agotamiento p según tipo de cultivo y ETo

Tipo de Cultivo	ETo, mm/día Baja: 2 a 5	ETo, mm/día Media – Alta: 6 a 10
Hortalizas	30 – 40	15 – 25
Frutales	40 – 50	20 – 35
Pastos	50 – 70	30 – 45
Cereales	60 – 70	40 – 55

Manual de Diseño de Métodos de Riego. (2001). Densidad aparente para tipos de suelo, febrero 2001 [Tabla].

1.4.2.3 Lámina bruta o lámina total de riego (Lb). - Es la cantidad total de agua que será entregada por riego, también se considera las pérdidas producidas durante su aplicación a la parcela.

$$Lb = \frac{LARA}{Efa} \quad (4)$$

Efa = Eficiencia aplicada.

1.4.2.4 Lámina neta. - Es la cantidad de agua que debe ser aplicada durante el riego con el fin de cubrir el agua que ha utilizado el cultivo durante la evapotranspiración.

$$Ln = (Cc - Mp) * Da * D * f \quad (5)$$

La fracción de agotamiento “f” es un coeficiente que depende del tipo de cultivo, su valor se encuentra en la siguiente tabla.

Tabla 4.

Valor del coeficiente “f”

Cultivo	f	Cultivo	f	Cultivo	f
Alfalfa	0.60	Limón	0.25	Frutales hoja caduca	0.40
Aguacate	0.30	Maíz grano	0.40	Guisante-arveja	0.25
Apio	0.15	Melón	0.20	Judía-frejol	0.50
Brócoli	0.30	Naranja	0.35	Lechuga	0.35
Caña de azúcar	0.60	Patata	0.40	Tabaco	0.25
Cebolla	0.30	Plátano	0.30	Tomate	0.45
Coliflor	0.45	Remolacha	0.50	Viñedo	0.55
Fresa	0.10	Repollo-col	0.35	Zanahoria	0.40

Hablemos de Riego. (2012). Fracción de agotamiento o del agua disponible “f”, enero (2012) [Tabla].

Según Maldonado (2001), cuando no se encuentra el valor de f en la tabla se debe considerar un valor de extracción de agua de un 60% ($f=0.6$) para cultivos de raíces profundas y 40% ($f=0.4$) para cultivos de raíces superficiales.

1.5 INFILTRACIÓN DEL AGUA

Es el movimiento del agua desde la superficie del suelo hacia abajo, esto se da luego de la aplicación de dicho recurso por medio de una lluvia o un riego.

1.5.1 Velocidad de infiltración (VI)

Es la capacidad que tiene un suelo para absorber el agua aplicada a este en un tiempo determinado, esta depende también en las condiciones de humedad que se encuentre el suelo.

“El conocer la velocidad de infiltración que tiene el agua en el suelo es importante para el riego, porque de este valor depende el tiempo de riego o selección de los aspersores” Cadena (2014).

Existe una expresión matemática para la velocidad de infiltración que relaciona el tiempo y lámina de agua infiltrada, esta fue desarrollada por Kostikov y se expresa de la siguiente manera:

$$VI = a * t^b \quad (6)$$

Donde:

VI = velocidad de infiltración o infiltración instantánea, (mm/h)

t = tiempo de infiltración o infiltración instantánea, (min)

a = coeficiente que representa la VI para t = 1 min

b = exponente negativo, $-1 < b < 0$

1.5.2 Infiltración acumulada o ecuación de infiltración

Esta se obtiene al integrar la ecuación de la velocidad de infiltración, es la sumatoria de todas las alturas de agua infiltrada durante un tiempo.

$$I_{cum} = A * t^B \quad (7)$$

Para obtener los parámetros a y b o A y B se obtienen analíticamente por el método de los mínimos cuadrados, mismo que será explicado más adelante en el desarrollo de los ejercicios.

1.6 EFICIENCIA DE RIEGO

Es el manejo adecuado del agua en el medio agrícola, se refiere al nivel de habilidad que posee la persona que maneja el agua destinada al riego.

Sin una adecuada eficiencia se presentan problemas como el mal manejo de agua en la parcela; este mismo conlleva a una baja producción de los cultivos, deterioro del medio ambiente y también una disminución de ingresos en la producción.

La eficiencia es un criterio del diseñador, según el sistema de riego a emplearse se ha creado la siguiente tabla:

Tabla 5.

Variación de la eficiencia.

MÉTODO DE RIEGO	EFICIENCIA (%)
Riego por gravedad	30 – 70% (0.30 – 0.70)
Riego por aspersión	80 – 85% (0.80 – 0.85)
Riego por goteo	Mayor a 90% (0.90)

Hablemos de Riego con los Agricultores. (2014). Variación de la eficiencia en función del método de riego, agosto (2014) [Tabla].

1.6.1 Eficiencia de aplicación

Es la relación entre el volumen de agua almacenada en la zona de raíces (VZR) y el volumen total aplicado (VTA); según Vásquez A et al. (2017), la Efa representa el porcentaje de agua aprovechado por el cultivo.

$$Efa = \frac{VZR}{VTA} * 100; \text{ ó } Efa = \frac{Ln}{Lb} * 100 \quad (8)$$

Tabla 6

Eficiencias de aplicación por método de riego

Método de riego	Manejo bueno	Manejo pobre
Surcos	50 – 75	30 – 50
Melgas	50 – 85	30 – 50
Aspersión	60 – 85	40 – 60
Goteo	60 – 85	50 – 60

Manual de Diseño de Métodos de Riego. (2001). Eficiencia de aplicación según método de riego y grado de manejo, %, febrero 2001 [Tabla].

1.7 ECUACIONES DEL FLUJO BÁSICAS

Para el desarrollo de este trabajo se utilizan conceptos de la hidráulica de canales, debido a la similitud en el flujo de canales abiertos y el flujo en melgas o surcos, existiendo algunas diferencias como lo es, un flujo permanente en lo que respecta a canales y un flujo no permanente en lo referente a surcos.

1.7.1 Ecuación de Manning. – Se utiliza para el cálculo de la velocidad del agua en canales abiertos y tuberías, debido a que los surcos se construyen en forma de canales se utilizara la siguiente expresión:

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S_0^{1/2} \quad (9)$$

Donde:

Q = caudal, (m³/s)

A = sección de escurrimiento, (m²)

n = coeficiente de rugosidad

R= A/P = radio hidráulico, (mtrs)

P = perímetro mojado, (mtrs)

S_o = pendiente

1.8 PERÍODOS DE RIEGO

Para el riego por superficie existen tres tipos de períodos de riego: avance, reposición de agua al suelo y recesión.

1.8.1 Periodo de avance (T1). - Este periodo constituye el tiempo de avance del agua desde la cabecera hasta el pie de un surco o melga. Vásquez A et al. (2017) la ecuación matemática que permite describir la fase de avance se conoce como función de avance.

$$X = pT^r \quad (10)$$

Donde:

X= distancia de avance

p = coeficiente (obtenido por mínimos cuadrados)

r = exponente (obtenido por mínimos cuadrados)

T= tiempo de avance

Las constantes P y r se pueden obtener mediante un análisis de mínimos cuadrados, mismo que será programado y explicado más adelante.

1.8.2 Reposición de agua al suelo (t₂). - Este es el segundo periodo de avance. Vásquez A et al. (2017) menciona que representa el tiempo de riego durante el cual se permite reponer al suelo la lámina neta (Ln).

$$t_2 = \left(\frac{Ln}{A}\right)^{1/B} \quad (5)$$

Donde:

A = factor obtenido mediante mínimos cuadrados

B = factor obtenido mediante mínimos cuadrados

1.8.3 Retiro del agua. - Corresponde al tercer periodo de avance, Vásquez A et al. (2017) menciona que al concluir T₁ y t₂, se suspende el agua en la cabecera y esta se retira de la superficie del suelo a través de 2 fases: a) fase de vaciamiento o retiro vertical tr y b) fase de recesión o retiro horizontal th.

Capítulo 2: DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE RIEGO A GRAVEDAD

2.1 Diseño del Riego por Surcos

En este sistema el agua se escurre por pequeños canales, debido a la acción de la fuerza gravitacional mojando solo una parte del terreno.

“Este método de riego es adecuado en cultivos escardados como maíz, patata, frejol y hortalizas; pudiéndose utilizar en un riego de presiembra.” (Vásquez A et al., 2017, pp. 305)

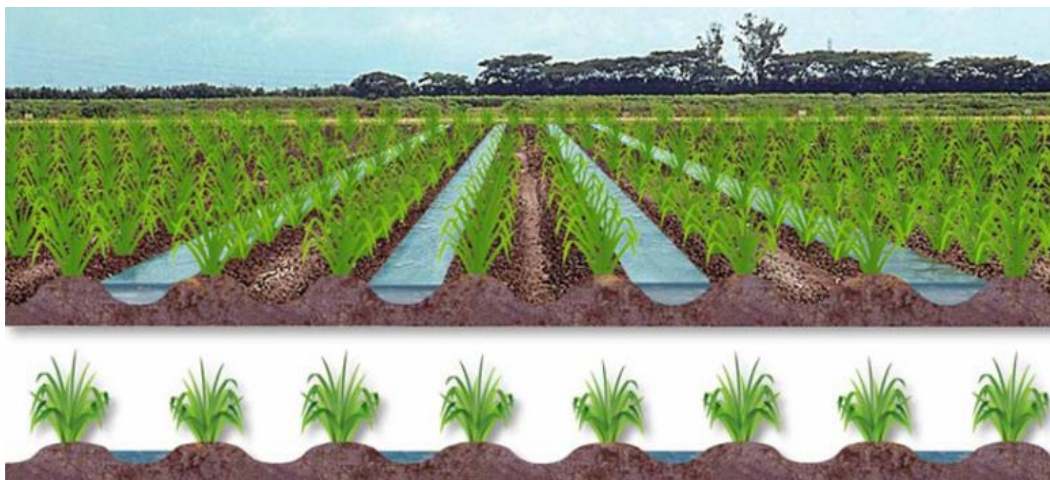


Imagen 2. Riego por surcos. Copyright 2012 por Víctor Cadena R. Hablemos de Riego (2012)

2.1.1 Factores de diseño

Para el correcto diseño de este tipo de sistema se debe considerar factores como suelo (pendiente, textura y profundidad), tipo de cultivo y sistema de distribución del agua al predio.

En un diseño por surcos el suelo y la pendiente son factores de suma importancia, Maldonado (2001) menciona que, el largo de los surcos es limitado por la pendiente del terreno, por tanto, no es recomendable en inclinaciones mayores a 2%. Si dicho caso se presentara, la solución sería diseñar los surcos en curvas de nivel con una pendiente que varía de 0.2 a 0.6% considerado como pendiente máxima del terreno 7%. La pendiente

mínima del surco debe de ser 0.05% para que así se pueda producir un flujo superficial del agua, siempre y cuando el caudal aplicado sea mayor al caudal infiltrado.

La textura y profundidad del suelo también deben ser considerados para el diseño. Los suelos de textura gruesa o arenosa retienen menos cantidad de agua que los suelos de textura fina o arcillosa. En la siguiente tabla se muestra el largo máximo que puede tener un surco de acuerdo con su textura, y pendiente del terreno, también está incluida la profundidad del suelo, ya que este factor hace que la cantidad de agua que se aplica sea mayor.

Tabla 7

Largo máximo de surcos.

Pdte, %	TEXTURA DEL SUELO								
	Arenosa			Franca			Arcillosa		
	PROFUNDIDAD DEL SUELO, cm.								
	50	100	150	50	100	150	50	100	150
0.25	150	220	265	250	350	440	320	460	535
0.50	105	145	180	170	245	300	225	310	380
0.75	80	115	145	140	190	235	175	250	305
1.00	70	100	120	115	165	200	150	230	260
1.50	60	80	100	95	130	160	120	175	215
2.00	50	70	85	80	110	140	105	145	185

Hablemos de Riego con los Agricultores. (2014). Largo máximo de surcos (m), según pendiente, textura y profundidad del suelo, agosto (2014) [Tabla].

Otro factor a considerarse en el diseño de este método de riego es la separación de los surcos, este factor está relacionado con la naturaleza física del suelo y la profundidad del enraizamiento del cultivo según Cadena (2014) menciona que, en suelos arenosos, el agua penetra rápidamente produciendo un escaso movimiento lateral, lo que indica que la separación máxima es hasta los 50cm. Por el contrario, en suelos arcillosos el movimiento lateral predomina, siendo posible separar lo surcos hasta metro y medio.

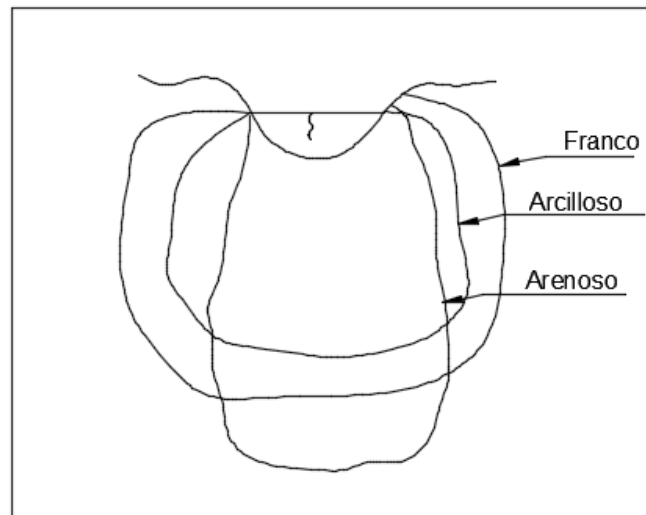


Imagen 3. Esquema del bulbo húmedo según textura del suelo. Copyright 2012 por Víctor Hugo Cadena N. Hablemos de riego (2012).

2.1.2 Caudal de los surcos. - El caudal de entrega por surco depende de la pendiente y textura del suelo, este se puede calcular por la siguiente relación empírica.

$$Q_{max} = \frac{C}{S_0\%}, \text{ l/s} \quad (62)$$

Donde:

S_0 = Pendiente

Q_{max} = Caudal máximo no erosivo

$C = 0.57$ para suelos arenosos

$C = 0.63$ para suelos francos

$C = 0.96$ para suelos arcillosos

Según Cadena (2012) el caudal por surco fluctúa entre 0.25 y 3.0 l/s, la velocidad máxima del agua entre 0.15 y 0.18 m/s.

2.2 Procedimiento de diseño.

2.2.1 Cálculo del riego por surcos

Para diseñar un sistema de riego por surcos se deben realizar los siguientes cálculos preliminares:

- Lámina de agua aprovechable. - Es el agua disponible en el perfil del suelo para uso consuntivo de las plantas, es uno de los valores más importantes en la programación del riego.

$$LAA = (CC - MP) * Da * Pef \quad (13)$$

$$Pef = 70\% \text{ (prof. total de raíces)}$$

Los factores CC y MP, serán trabajados en su valor decimal, es decir el valor porcentual dividido para cien.

Lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA). – Se refiere a la cantidad de agua consumida por la planta, entre dos riegos consecutivos, es decir que para aplicar el próximo riego no se debe permitir un agotamiento total del agua disponible en el suelo.

$$LARA = p * LAA \quad (14)$$

p= porcentaje de agua aprovechable (criterio de riego)

- Frecuencia de riego (Fr). - Es la frecuencia con que se aplica agua a un cultivo en una etapa determinada de crecimiento; se expresa en días.

$$Fr = \frac{LARA}{Et \max} \quad (15)$$

Fr(aj) = Es la Fr ajustada a su valor más próximo.

- Periodo de riego (Pr). - Es el tiempo necesario para irrigar toda el área a cultivar menos los días no laborables, el Pr se expresa en días

$$Pr = Fr(aj) - \text{días no laborables} \quad (16)$$

- Lámina de riego ajustada (Lr(aj)). – Se refiere a la cantidad de agua que se debe reponer al suelo, esta no debe ser mayor a la lámina de agua rápidamente aprovechable.

$$Lr(aj) = Fr(aj) * Etmax \quad (17)$$

$$Lr(aj) < LARA$$

- Lámina total de riego (Lb). – Se describe como cantidad total de agua que se entrega por riego, tomando en cuenta la eficiencia del sistema de riego.

$$Lb = \frac{Lr(aj)}{Efa} \quad (18)$$

- Tiempo total de riego (Tr). – Es el tiempo que le toma al agua al transcurrir por sus tres periodos de riego: avance, reposición y retiro.

$$Tr = T1 + t2 + t \text{ adic} \quad (19)$$

t adic= tiempo para hacer el cambio de riego desde un grupo de surcos hacia otro grupo de surcos

- Turnos de riego por día. – Representa el número de turnos en el que los parcelarios, podrán regar sus cultivos en el transcurso de un día.

$$\text{Turnos riego/día} = \frac{Jr}{Tr} \quad (20)$$

$Jr = \text{jornada de trabajo}$

- Turnos por periodo de riego. – Representa los turnos totales por periodo de riego necesarios para entregar el agua a los parcelarios.

$$\text{Turnos/Pr} = \text{Turnos riego/día} * Pr \quad (21)$$

- Superficie bajo riego por turno (Sr / turno). – Es el volumen de agua que se debe aplicar por turno para reponer la necesidad hídrica.

$$Sr/\text{Turno} = \frac{Sr}{\text{Turnos}/Pr} \quad (22)$$

$Sr = An = \%(At)$

- Dosis bruta por turno. – Volumen de agua que se utiliza para regar el área de un turno

$$Db/\text{Turno} = Sr/\text{Turno} * Lb \quad (23)$$

- Caudal mínimo requerido (Q_{min}). – Es el caudal que se necesita para que el sistema de riego funcione, este tendrá que ser menor al caudal inicial.

$$Q_{min} = \frac{Db / Turno}{Tr} \quad (24)$$

condición de diseño: $Q_0 > Q_{min}$

2.2.2 Diseño de la distribución del sistema de riego.

Depende del criterio del planificador y del área a irrigarse, según Maldonado (2001) pueden surgir varias alternativas de distribución del sistema de riego. Se calcula los siguientes elementos en el diseño:

- Número de unidades de riego. – La unidad de riego es un grupo de pequeños sistemas de riego controlados por los usuarios.

$$N^{\circ} \text{ UR} = \text{Largo del terreno} / L_{\text{max surco}} \quad (25)$$

La ($L_{\text{max surco}}$) se obtiene por medio de la ecuación de avance, para luego calcular su longitud real con el valor de las unidades de riego.

$$L_{\text{surco}(aj)} = \text{Área neta de riego} / (\text{ancho terreno} * N^{\circ} \text{UR}) \quad (26)$$

- Número total de surcos. – Es la cantidad de surcos que se podrá implementar dentro del sistema.

$$\text{Num.tot. surcos} = (N^{\circ} \text{ surcos por unidad de riego}) * (N^{\circ} \text{UR}) \quad (27)$$

Donde:

$$N^{\circ} \text{ surcos por unidad de riego} = \text{Ancho del terreno} / \text{Ancho surco}$$

- Número de surcos por turno de riego. – Es la cantidad de surcos que se encuentran dentro de un turno de riego para cada parcelario.

$$\text{Num.surcos}/Tr = Q_0 / Q(\text{surco}) \quad (28)$$

- Número de regantes. – Es el total de personas que podrán regar sus cultivos, esto depende del caudal que se entrega al sistema de riego.

$$\text{Num. regantes} = Q_o / Q \text{ que maneja el regante} \quad (29)$$

- Número de surcos por regante. – Es la cantidad de surcos que podrá manejar el regante dentro de su turno de riego.

$$\text{Num.surcos por reg.} = \text{Surcos por turno} / \text{N}^\circ \text{ de regantes} \quad (30)$$

- Surcos a regar por día. – Es la cantidad máxima de surcos que se podrá cubrir en un día de riego.

$$\text{S.R.D} = \text{Surcos por regante} * \text{N}^\circ \text{ de regantes} * \text{turnos} / \text{día} \quad (31)$$

- Periodo de riego (Pr). – Se refiere a cuanto debe durar un riego, para el riego por surcos debe cumplir la condición de que este Pr debe ser menor a la Fr.

$$Pr = \frac{N^\circ \text{ tot. surcos}}{N^\circ \text{ surcos} / \text{día}} \quad (32)$$

condicion de diseño: Pr < Fr

En el caso en que $Pr > Fr$, Maldonado (2001) indica que se tendrá que revisar las siguientes alternativas del rediseño:

- a) Fraccionar el área total de riego, a fin de tener menor superficie de riego por turno.
- b) Aumentar el caudal disponible, almacenando el agua fuera de las horas de riego.
- c) Aplicar el caudal reducido, mediante el siguiente “truquito”
 1. Regar surcos impares con Q_{max} durante T_1 (2sifones por surco). 1era tanda
 2. Regar surcos pares con Q_{max} durante T_1 (2sifones por surco). 2da tanda
 3. Regar surcos pares e impares con Q reducido durante t_2 (1 sifón por surco). 2 tandas

Al aplicar esta técnica de manejo del agua, el tiempo de riego por tanda resulta de:

$$Tr = \frac{2T_1 + t_2}{2} + t. \text{adic} \quad (33)$$

2.3 Ejercicio de diseño por surcos

Para el desarrollo del siguiente ejercicio, se tomará criterios de diseño para el cultivo de la patata en suelo arcilloso con pendientes moderadas, este ha sido elaborado y programado mediante el software Excel, a continuación, se presenta su desarrollo junto con la respectiva indicación paso a paso para su correcto manejo.

En las siguientes imágenes, se muestra la hoja de cálculo ya programada, los recuadros resaltados de amarillo son los datos a ingresar, los mismos que serán facilitados por un ingeniero agrónomo o tablas ya especificadas. Los recuadros de color café son los datos necesarios para arrancar con el diseño, estos se obtienen por medio de ensayos de suelos, tablas, estudios agronómicos.

A continuación, se presentan los datos necesarios para iniciar con el diseño.

Datos de la parcela			Largo	Ancho		
At	12	ha	400	300	mtrs	
An	Considerado 3% del At por caminos, canales, drenes				97	%
Pendiente	N-S	10	%	0.1		
	E-O	3	%	0.07		

Tabla 8. Datos de parcela

Se diseñará un sistema de riego por surcos, en el que se cultivará patata, la parcela posee un área de 12ha, con un área neta de 97%, debido a que el 3% se considerará terreno no cultivable por ser destinado a caminos, canales, drenes; posee pendientes moderadas de N-S 10%, de E-O 3%.

Suelo					
Textura		Arcilloso			
Constantes hidrofílicas		CC	21	%	0.21
		MP	10	%	0.1
		Da	1.3		
Profundidad efectiva		1	mtrs		

Tabla 9. Datos del suelo.

Los datos del suelo son cálculos agronómicos, obtenidos en un laboratorio mediante ensayos.

Ecuación de Infiltración			
$I_{cum} = At^B$	mm	A	2.41
Tiempo infiltración (t)	min	B	0.59
Ecuación de Avance			
$X = pT^r$	mtrs	p	9.7
Tiempo Avance (T)	min	r	0.55
Qprueba	0.504	l/s	

Tabla 10. Datos para ecuaciones de infiltración y avance.

Los valores de A, B para la ecuación de infiltración, al igual que p, r para la ecuación de avance se pueden obtener por medio del método de mínimos cuadrados explicados a continuación. Para los factores p y r es necesario un caudal de prueba para realizar los trabajos en laboratorio.

Para la ecuación de infiltración es necesario obtener datos de infiltración y su tiempo, los mismos que se realizan en laboratorio, la hoja de cálculo está programada para 11 muestras de infiltración que ya han sido trabajadas con anterioridad.

Se deberá calcular el logaritmo de cada dato medido, tanto de la infiltración como del tiempo, se multiplicará las columnas 3 y 4 en la columna 5, la columna 3 será elevada al cuadrado, sus resultados estarán en la columna 6. Todos estos datos están programados para facilitar su obtención.

Para la Ecuación de Infiltración					
1	2	3	4	5	6
Icum,mm	TIEMPO,min	logT	logI	logT*logI	(logT)2
7.0	5.0	1.60943791	1.94591015	3.13182157	2.59029039
12.0	10.0	2.30258509	2.48490665	5.72170901	5.30189811
13.0	15.0	2.7080502	2.56494936	6.94601162	7.33353589
18.0	30.0	3.40119738	2.89037176	9.83072485	11.5681436
21.0	45.0	3.80666249	3.04452244	11.5894694	14.4906793
29.0	60.0	4.09434456	3.36729583	13.7868694	16.7636574
30.0	75.0	4.31748811	3.40119738	14.6846293	18.6407036
33.0	90.0	4.49980967	3.49650756	15.7336185	20.2482871
37.0	120.0	4.78749174	3.61091791	17.2872397	22.9200772
40.0	150.0	5.01063529	3.68887945	18.4836296	25.1064661
44.0	180.0	5.19295685	3.78418963	19.6511335	26.9668009
Total sumas		41.7306593	34.2796481	136.846856	171.93054

Tabla 11. Tabla de cálculo para los coeficientes A y B

Al final se deberá sumar todos los valores logarítmicos de cada una de las columnas, estos serán los parámetros necesarios para el cálculo de B y logA; los mismos que se obtendrán mediante las siguientes expresiones.

$$B = \frac{\left(\frac{\sum \log T * \log i}{n} - \frac{\sum \log T}{n}\right) * \left(\frac{\sum \log i}{n}\right)}{\frac{\sum (\log T)^2}{n} - \left(\frac{\sum \log T}{n}\right)^2} \quad (34)$$

$$\log A = \left(\frac{\sum \log i}{n}\right) - \left(B * \left(\frac{\sum \log T}{n}\right)\right) \quad (35)$$

n = número de iteraciones o resultados de laboratorio.

Luego de encontrar el valor de logA, se despeja A para obtener el valor buscado.

n	11		
B	0.49939313	A	3.39324185
logA	1.22178576		

Tabla 12. Valores de los coeficientes para infiltración.

Para encontrar los valores de p y r se necesita de igual forma un análisis de distancias, realizadas en los surcos con sus respectivos tiempos, estos valores serán procesados en la tabla, la misma que está basada en el método de los mínimos cuadrados.

Para la Ecuación de Avance					
1	2	3	4	5	6
Dst. (mtrs)	TIEMPO,min	logT	logD	logT*logD	(logT)2
30.0	10.0	2.30258509	3.40119738	7.83154639	5.30189811
60.0	27.0	3.29583687	4.09434456	13.4942918	10.8625406
90.0	57.0	4.04305127	4.49980967	18.1929612	16.3462636
120.0	92.0	4.52178858	4.78749174	21.6480255	20.4465719
150.0	143.0	4.96284463	5.01063529	24.8670045	24.6298268
180.0	202.0	5.3082677	5.19295685	27.5656051	28.1777059
210.0	266.0	5.58349631	5.34710753	29.8555552	31.175431
240.0	337.0	5.82008293	5.48063892	31.897773	33.8733653
Total sumas		35.8379534	37.814182	175.352763	170.813603

Tabla 13. Tabla de cálculo para los coeficientes p y r

Los valores de r y $\log p$ serán obtenidos por medio de las ecuaciones (34) y (35) respectivamente.

n	8		
r	0.57990571	p	8.40598123
logp	2.1289435		

Tabla 14. Valores de los coeficientes para avance.

Luego de encontrar los diferentes coeficientes para las ecuaciones de avance y de infiltración, se los reemplazará en sus respectivas formulas.

Otros datos de diseño referentes al riego son: las jornadas, los días no laborables estos estarán destinados a operaciones de mantenimiento y cambio de usuario, la eficiencia será un valor que asumirá el diseñador con la ayuda de la tabla 5, el caudal del regante será el asignado por el ingeniero agrónomo para el sector a regar.

Riego				
Efa	60	%	Asumida	0.6
Jornada de Riego	10	hr/día		
Días no laborables	2			
Caudal del regante	12.5	l/s		

Tabla 15. Datos de riego.

Se debe conocer el caudal existente en el abastecimiento de agua, los datos del cultivo estarán facilitados por un ingeniero agrónomo.

Abastecimiento de Agua			
Fuente	toma en canal secundario		
Caudal disponible	Q _o	50	l/s
Cultivo			
Patata			
Separación (planta hilera)	0.5x1.0	mtrs	
Practica agrícola	Surcos en serpentín		
E _{max}	5	mm/día	
Profundidad de raíces	0.8	mtrs	800
Porcentaje de agua aprovechaba	50	%	0.5
Profundidad total de las raíces	70	%	0.7

Tabla 16. Datos de cultivo y abastecimiento de agua.

2.3.1 Cálculo de parámetros técnicos.

Se obtendrá un conjunto de datos, que se realizará según el punto 2.2.1 del presente trabajo.

Por medio de las ecuaciones (13), (14), (15), se obtienen los siguientes resultados.

Lámina de agua aprovechable		
LAA	80.08	mm
Lámina de agua rápidamente aprovechable		
LARA	40.04	mm
Frecuencia de Riego		
Fr	8	días

Tabla 17. Resultados de parámetros técnicos.

Se obtiene datos técnicos del sistema, por medio de la ecuación (16), (17), (18).

Como se puede observar el sistema de riego deberá funcionar cada 8 días, y se regará el cultivo durante 6 días, como lo expresa el resultado del periodo de riego.

Período de Riego		
Pr	6	días
	6	días
Lámina de riego ajustada		
Lr(aj)	40.04	cumple
Lámina bruta o total de riego		
Lb	66.733	mm

Tabla 18. Resultados de parámetros técnicos.

El tiempo de riego es el resultado de la suma de los 3 periodos de riego, para ello es necesario calcular: la reposición de agua al suelo t_2 , se obtiene por medio de la ecuación (10) donde se podrá usar LARA como sustituto de L_n , los parámetros A y B se deducen por medio del método de los mínimos cuadrados, el periodo de avance T_1 será el $\frac{1}{4}$ de t_2 debido a que se desconoce la longitud que el agua va a recorrer, el tiempo de retiro del

agua t_3 se toma en cuenta en surcos de pendiente suave, en pendiente fuerte, t_3 ocurre demasiado rápido y debido a esto se lo puede despreciar. El tiempo de riego se obtiene por medio de la ecuación (18).

Tiempo de riego		
Período de avance		
T1	29	min
Reposición de agua al suelo		
t2	117	min
Retiro del agua		
t3	0	min
Valor existente en pendientes suaves		
Tr	146	min

Tabla 19. Resultados de Tiempo de riego

La superficie que se va a regar será considerada el 97% del área neta, debido a que el 3% restante será considerado como área no regable por estar destinada a caminos, canales y drenes. Por medio de las ecuaciones (20), (21) y (22) para esta última el valor porcentual de área neta será transformado a decimales, se obtienen los siguientes resultados.

Turnos de riego por día		
Turnos riego/día	4.0986054	
Turnos /día (aj)	4	
Turnos por período de riego		
Turnos/Pr	24	
Superficie bajo riego por turno, Sr/Turno		
Sr	11.64	ha
Sr/Turno	0.485	ha

Tabla 20. Resultados de diseño.

Por medio de las ecuaciones (23), (24), se obtiene los parámetros técnicos finales, el caudal mínimo debe cumplir una condición en la que $Q_o > Q_{min}$, en el supuesto caso en que esta condición no se cumpla se deberá disminuir la jornada de riego programada.

Dosis bruta por turno			
Db/Turno	323.657	m ³	
Caudal mínimo requerido			
Q _{min}	2.21	m ³ /min	
	36.85	lts/s	CUMPLE

Tabla 21. Resultados y condición de diseño.

2.3.2 Distribución del sistema de riego.

Debido a las condiciones de pendiente del terreno, y por ser un suelo arcilloso, se puede tener una alta velocidad de agua, aunque los surcos se encuentren a nivel, por lo que es recomendable disminuir la velocidad del caudal de riego construyendo surcos en zigzag como los indica la imagen.

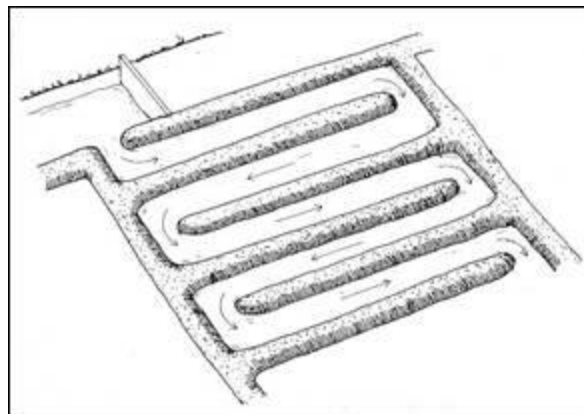


Imagen 4. Surcos en serpentín o zigzag. Copyright 2014 por Víctor Hugo Cadena N.

Hablemos de riego con los agricultores (2014).

De acuerdo con el punto 2.2.2 del presente trabajo los cálculos que comprenden la distribución del sistema de riego son:

Según la ecuación de avance (10), se podrá calcular la longitud del surco; los factores p y r se podrán obtener por medio del método de los mínimos cuadrados. El resultado obtenido no necesariamente es la respuesta, el diseñador deberá analizar esta según su criterio; por lo que esta podría aumentar o disminuir.

Longitud máxima del surco		
	62.1400445	
Lmax	62	mtrs
Adoptando	70	mtrs

Tabla 22. Longitud de surco.

El número de unidades de riego se obtiene por medio de la ecuación (25), y la longitud real del surco está dada por la siguiente ecuación:

$$L \text{ surco } (aj) = \frac{Sr}{\text{Ancho terreno} * N^{\circ}UR} \quad (36)$$

Sr estará expresado en metros

N° Unidades de riego		
N° UR	5.714	
Adopta	6	
Longitud real del surco		
L surco (aj)	65	mtrs

Tabla 23. N° de unidades de riego y longitud real del surco.

Para el cálculo del caudal máximo no erosivo, es necesario tomar la pendiente en la que el surco ha sido trazado, es recomendable trazar los surcos en el sentido de la mínima pendiente para disminuir la velocidad del caudal, esto se consigue por medio de la ecuación (12), y su coeficiente C esta especificado en el punto 2.2.2

	C	0.57	Suelo arenoso
	C	0.63	Suelo franco
	C	0.96	Suelo arcilloso
		C	0.96
Pendiente surco menor	So	3	
Caudal máximo no erosivo			
	Qmax	0.32	l/s

Tabla 24. Caudal máximo no erosivo.

El caudal del surco se definirá con la condición, si $Q(\text{prueba}) < Q_{\text{max}}$; se tomará el valor de $Q(\text{prueba})$. Si fuera el caso contrario, $Q(\text{prueba}) > Q_{\text{max}}$; se adoptará el valor de Q_{max} en la hoja de cálculo los recuadros de color amarillo son los que debe llenar el diseñador,

en este caso se colocará el valor del caudal que dicte la condición programada en letras rojas.

Caudal del surco		
Q(prueba)	0.504	l/s
Q/surco	Qmax	Condición
Valor	0.32	l/s

Tabla 25. Caudal del surco.

Es necesario dar un valor de ancho de surco, según Cadena (2014) este dato depende de la textura del suelo y caudal a emplearse. En el presente trabajo se utiliza un suelo arcilloso por lo que el movimiento del agua es más hacia los lados que hacia abajo por lo que los surcos deben ser anchos y poco profundos, es decir en forma rectangular.

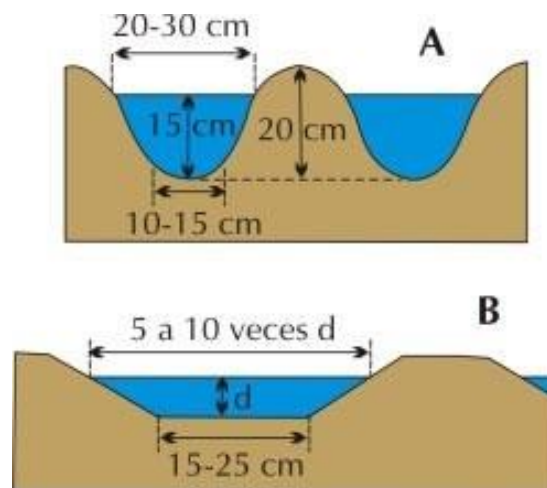


Imagen 5. Forma de los surcos. Copyright 2014 por Víctor Hugo Cadena N. Hablemos de riego con los agricultores (2014).

El punto 2.2.2 del presente trabajo especifica una serie de fórmulas a seguir, para el diseño de la distribución del sistema de riego; estas están programadas y sus resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tanto el resultado de número de regantes como el periodo de riego deberán ser ajustados a criterio del diseñador, se deberá cumplir la condición de diseño en la que el $Pr < Fr$ para que el diseño sea adecuado.

El número de surcos por unidad de riego se obtiene mediante la división del ancho del terreno para el ancho del surco.

Ancho del surco				
0.8	mtr			
Nota. - Se trazarán surcos en sentido de la mínima pendiente				
Número de surcos por unidad de riego	375			
Número total de surcos	2250			
Número de surcos a regar por turno de riego	156.250	156.000		
Número de regantes o parceleros	4.00	Adopta	6	
Número de surcos que maneja el regante	26			
Número de surcos a regar por día	624			
Período de riego	3.6	Adopta	5	CUMPLE

Tabla 26. Resultados de la distribución del sistema de riego.

Para el caso en que la condición de diseño no se cumpla, al final del punto 2.2.2 del presente trabajo se muestra 3 posibles alternativas de rediseño, se utilizará la opción c. (aplicar el caudal reducido).

Se deberá calcular un nuevo valor de T1, esta se obtiene despejándolo de la ecuación de avance (10), para luego ser analizado en las siguientes etapas: la primera será surcos impares del total de surcos que manejara cada regante, en este caso serán 26 con el caudal del surco y el nuevo T1, la segundo se analiza surcos pares del total de surcos de los regantes con el caudal del surco y el nuevo T1, la tercera etapa serán surcos pares e impares con la mitad del caudal del surco y t2 calculado anteriormente; dando los siguientes resultados.

N° surco/regante	26		
T1	31	min	
	N° surco/regante	T1	Q(l/s)
1era etapa: Riego con surcos impares	26	31	0.32
2da etapa: Riego con surcos pares	26	31	0.32
	N° surco/regante	t2	Q(l/s)
3era etapa: riego surcos pares e impares	52	117	0.16

Tabla 27. Etapas de rediseño para caudal reducido.

Se deberá calcular nuevamente el tiempo de riego, y los turnos de riego por día este se deberá ajustar a criterio del diseñador, estos valores se encuentran por medio de las ecuaciones (33), (20) respectivamente. El T_r calculado con la ecuación (33) será el de cada tanda de surcos.

Tiempo de riego		
T_r	90.04	tpo. De riego/tanda
Turnos por día		
tur/día	6.66406486	
Adopta	7	

Tabla 28. Resultados de T_r y turnos de riego por día.

También se debe calcular nuevamente los surcos a regar por día, y el periodo de riego, el P_r se debe ajustar a criterio del diseñador, dichos valores se encuentran por medio de las ecuaciones (31) y (32) respectivamente. El P_r deberá cumplir una condición en la que su valor se encuentre entre el P_r anterior y la F_r ; es decir (P_r . anterior < P_r < F_r), si esto se da, el rediseño es aceptado caso contrario se deberá tomar otra de las opciones especificadas en el punto 2.2.2.

Surcos a regar por día		
surcos reg/día	1092	
Periodo de riego		
Pr	2.06043956	
Adopta	3	VERDADERO

Tabla 29. Surcos a regar por día y periodo de riego con su condición.

2.3.3 Estimación de la eficiencia de riego.

Para este punto se programó cuando la condición de diseño de la ecuación (32) cumple, la eficiencia de riego se analizará de una forma, si esta no cumple tendrá otra forma de cálculo.

Analizando cuando la condición de diseño cumple, se debe calcular el tiempo de riego para este; T_r relaciona únicamente el periodo de avance y reposición de agua al suelo es decir T_1 y t_2 , T_1 será el valor del tiempo obtenido en el método del truquito, con el nuevo valor de T_r se analizará el volumen total aplicado por medio de la siguiente expresión.

$$VTA = Q_{aplic} * T_r \quad (37)$$

Se calculará el volumen de agua almacenada en la zona de raíces con la siguiente expresión.

$$VZR = LARA * \text{area del surco} \quad (38)$$

Luego de calcular estos dos parámetros, se obtendrá la eficiencia de aplicación por medio de la ecuación (8).

Tr	146	min				
VTA	2.810712149	m3	Efa	0.7369672	73.70	%
VZR	2.071402667	m3				

Tabla 30. Datos y resultado de la eficiencia de aplicación.

Luego de encontrar la Efa, se calculará las pérdidas tanto por infiltración, percolación y escorrentía, en primer lugar, se deberá encontrar la lámina de infiltración esta se obtiene por medio de la ecuación de infiltración (6), el parámetro t será el tiempo de riego que relaciona únicamente el periodo de avance y la reposición de agua al suelo. Luego se calculará los volúmenes por medio de las siguientes ecuaciones.

Volumen de infiltración.

$$V_{inf} = L_{inf} * \text{area del surco} \quad (39)$$

La lamina de infiltración se obtiene por medio de la ecuación de infiltración (6).

Volumen de percolación.

$$V_{perc} = V_{inf} - VZR \quad (40)$$

Volumen de escorrentía.

$$V_{esc} = VTA - V_{inf} \quad (41)$$

Las pérdidas, se encontrarán por medio de las siguientes ecuaciones:

Perdida por escorrentía. – Representa el agua de lluvia que cae sobre la superficie del suelo, pero no se puede infiltrar

$$P_{esc} = \frac{V_{esc}}{VTA} * 100 \quad (42)$$

Perdidas por percolación. -Representa el agua que se infiltra a capas más profundas cuando se la aplica sobre la superficie del suelo.

$$P_{perc} = \frac{V_{perc}}{VTA} * 100 \quad (43)$$

Linf	45.67	mm				
Vinf	2.36	m ³				
Vperc	0.29	m ³				
			Pperc	0.104	10.37	%
Vesc	0.45	m ³				
			Pesc	0.16	15.93	%

Tabla 31. Resultados de láminas, volúmenes, y pérdidas.

Se presenta un resumen de los resultados, se puede observar que la Efa es buena ya que es mayor al 50% se encuentra dentro del rango mencionado en la tabla 6; la pérdida por escorrentía es aceptable, esta como se mencionó anteriormente debe de estar en un rango entre un 10 y 15% para que sea aceptable, la pérdida por escorrentía debe estar dentro del rango anterior, se puede ver que esta se encuentra elevada en un porcentaje del 0.93% que es un rango muy pequeño, cuando el desfase supera al 10%, se podrá disminuir aplicando la técnica del caudal reducido.

Resumen de resultados %		
Efa	73.70	BUENA
Pperc	10.37	ACEPTABLE
Pesc	15.93	ALTA

Tabla 32. Resumen de resultados.

Cuando la condición de diseño no se cumple, se aplicará la técnica del caudal reducido o cualquier otra ya mencionada al final del punto 2.2.2.

Al momento de analizar la eficiencia de riego, se aplicará el mismo procedimiento anterior con la única diferencia en que el tiempo de periodo de avance T1 será el calculado en el procedimiento del caudal reducido.

Si las pérdidas por escorrentía son altas, se deberá aplicar el siguiente procedimiento para reducirlas y así obtener una eficiencia mucho mayor.

El volumen total aplicado, se calculará con la siguiente expresión

$$VTA = V Q_{max} + V Q_{red} \quad (44)$$

El caudal del surco será el obtenido en la técnica del caudal reducido, tanto para el VQ_{max} se tomará el calculado en la 1era etapa, y para VQ_{red} se tomará el calculado en la 3era etapa.

Volumen del caudal máximo.

$$VQ_{max} = Q_{surco}(1era\ etapa) * tpo\ del\ caudal\ reducido \quad (45)$$

Volumen del caudal reducido.

$$VQ_{red} = Q_{surco}(3era\ etapa) * tpo\ del\ caudal\ reducido \quad (46)$$

La eficiencia se calculará por medio de la ecuación (8), con la única diferencia de que el valor de VTA será el calculado por medio de la ecuación (44).

VQ _{max}	0.60	m ³			
VQ _{red}	1.12	m ³	Efa	1.20	119.83
VTA	1.73	m ³			%

Tabla 33. Resultados de volúmenes y eficiencia de la técnica de caudal reducido.

Como se puede observar, al aplicar la técnica del caudal reducido para disminuir las pérdidas por escorrentía; la eficiencia aplicada aumenta en gran medida, bajo tales condiciones se espera que dichas pérdidas sean despreciables.

2.4 Diseño de riego por melgas

2.4.1 Aspectos generales.

Este método de riego consiste en dividir el terreno en fajas o melgas por medio de camellones o bordes, con el objetivo de inundar totalmente la superficie del suelo y así cada faja será regada independientemente, Maldonado (2001) menciona que para implementar este método de riego necesariamente habrá que nivelar el terreno, es recomendado nivelar los primeros 5 metros de melga con una pendiente del 0% para

lograr uniformidad en la aplicación del agua y se disminuirá la erosión en el suelo. El tamaño de la melga presenta algunas dimensiones, manifestadas en la siguiente imagen.

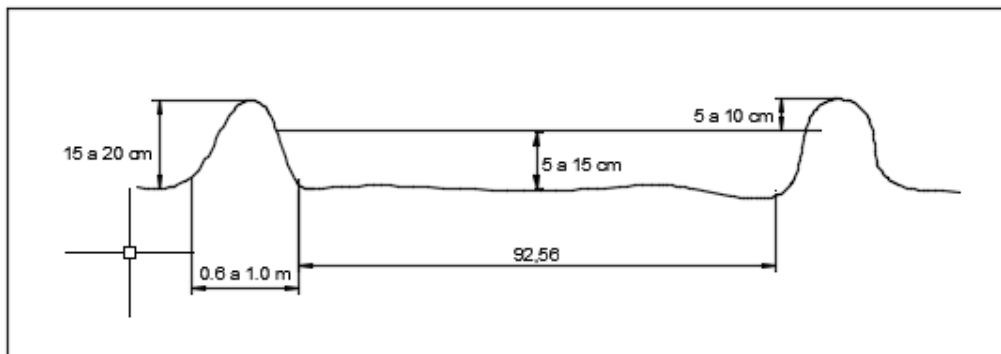


Imagen 6. Perfil transversal de una melga. Copyright 2001 por Temístocles Maldonado R. Manual de Diseño de Métodos de Riego (2001).

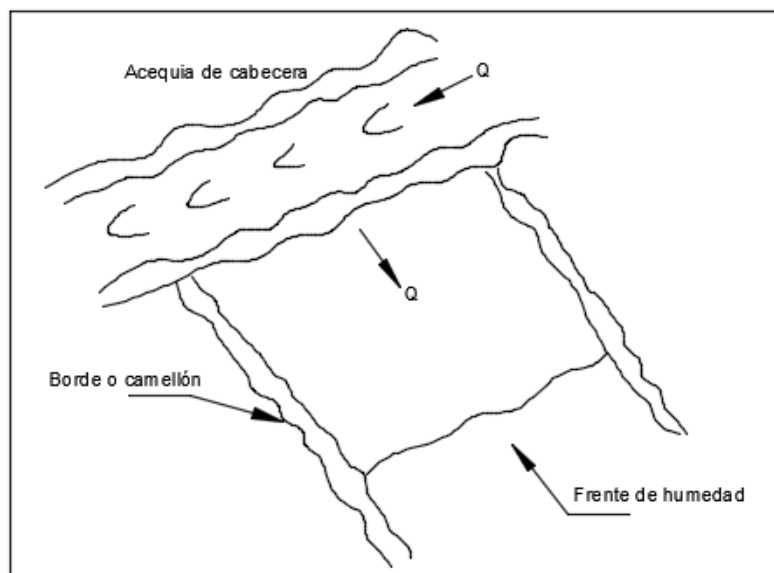


Imagen 7. Esquema de una melga. Copyright 2001 por Temístocles Maldonado R. Manual de Diseño de Métodos de Riego (2001).

Como lo menciona Maldonado (2001) “Este es un método que se adapta básicamente a cultivos de alta densidad de siembra, suelo con capacidad de infiltración moderada y topografía relativamente plana, no adaptable en suelos poco profundos, debido a trabajos de nivelación. La pendiente óptima para instalar el sistema está entre 0.1 y 0.2 %; pudiendo llegar hasta 3% en suelos de estructura estable y cobertura de pastos. Si el sistema está bien diseñado, bien construido y con buen manejo de agua, se logra una eficiencia entre 60 y 75 %.”

2.4.2 Caudal y longitud recomendados.

Según Cadena (2012) el caudal en este tipo de sistema de riego depende de la textura, pendiente y cubierta vegetal de la platabanda, su longitud depende de textura, pendiente y caudal disponible. Mientras más largas sean las platabandas, menor será la mano de obra y el costo de distribución para el riego.

Tabla 34.

Caudal y longitud máxima

Textura del suelo	Pendiente %	Caudal, l/s/m	Longitud, m
Arenosa	0.2 – 0.4	10 – 15	60 – 90
	0.4 – 0.6	8 – 10	60 – 90
	0.6 – 1.0	5 – 8	75
Arenosa franca	0.2 – 0.1	7 – 10	75 – 150
	0.4 – 0.6	5 – 8	75 – 150
	0.6 – 1.0	3 – 6	75
Franco arenosa	0.2 – 0.4	5 – 7	90 – 250
	0.4 – 0.6	4 – 6	90 – 180
	0.6 – 1.0	2 – 4	90
Franco arcillosa	0.2 – 0.4	3 – 4	180 – 300
	0.4 – 0.6	2 – 3	90 – 180
	0.6 – 2.0	1 – 2	90
Arcillosa	0.2 – 0.3	2 – 4	300 o mas

Manual de Diseño de Métodos de Riego. (2001). Caudal por metro de ancho de platabanda y longitud máxima según textura y pendiente del suelo, febrero (2001) [Tabla].

2.4.3 Variantes del método de riego.

Según en el método de riego por melgas existen diferentes variantes.

- a) Melgas rectangulares con salida de agua al pie.
- b) Melgas rectangulares sin salida de agua al pie.
- c) Melgas niveladas y retención de agua al pie (pozas).
- d) Melgas en contorno (siguen las curvas de nivel).
- e) Melgas por desbordamiento.

Se debe resaltar, que la variante más utilizada en la provincia son las melgas niveladas y retención de agua al pie (pozas); el diseño de dicha variante será correctamente programada y explicada paso por paso en el presente trabajo.

2.4.4 Caudal a aplicar.

Según Garcés (2014) propone las siguientes fórmulas para el cálculo del caudal.

a) Caudal por unidad de ancho

$$Q_w = \frac{Q_o}{W} \quad (47)$$

Donde:

Q_w = caudal por unidad de ancho ((ltr/seg) /mtrs)

W = Ancho de la melga (mtrs)

Q_o = Caudal disponible para el sistema.

b) Gasto unitario. - es el caudal por cada metro de ancho de la melga.

$$q = \frac{0.0167 * Ln * L}{Efa * (t_2 - t_r)} \quad (48)$$

Donde:

q = gasto unitario ((ltr/seg) /mtrs)

t_2 = Tiempo de reposición de agua al suelo (min)

Ln = Lamina neta (mm)

L = longitud de la melga (mtrs)

t_r = tiempo de retiro vertical (min)

El tiempo de retiro vertical t_r se calcula con la siguiente ecuación.

$$t_r = \frac{n^{1.2} * Q_w^{0.2}}{120 \left[S_0 + \left(\frac{0.0094n * Q_w^{0.175}}{t_2^{0.88} * S_0^{0.5}} \right) \right]^{1.6}} ; \text{para } S_0 < 0.4\% \quad (49)$$

Donde:

t_r = tiempo de retiro vertical (min)

S_o = pendiente (m/m)

Q_w = caudal por unidad de ancho ((mtrs³/seg) /mtrs)

t_2 = tiempo de reposición de agua al suelo (min)

c) Caudal de la melga. – Es el caudal que ocupa cada melga en el diseño.

$$Q = \frac{q * L * W}{100} \quad (50)$$

Donde:

q = gasto unitario ((ltr/seg) /mtrs)

L = longitud de la melga (mtrs)

W = ancho de la melga (mtrs)

2.4.5 Ancho de la melga

Este factor está determinado por la pendiente transversal del terreno, según Maldonado (2001), la máxima diferencia de altura que se debe permitir en un lado y otro de la platabanda es de 4 a 6cm, esto se hace para evitar que el agua se concentre en el borde más abajo y se formen causes o surcos individuales.

$$W = \frac{\Delta H}{S_o} \quad (51)$$

Donde:

W = Ancho de la melga (mtrs)

ΔH = Diferencia de altura de un lado y otro de la platabanda (mtrs)

S_o = pendiente transversal del terreno (decimal)

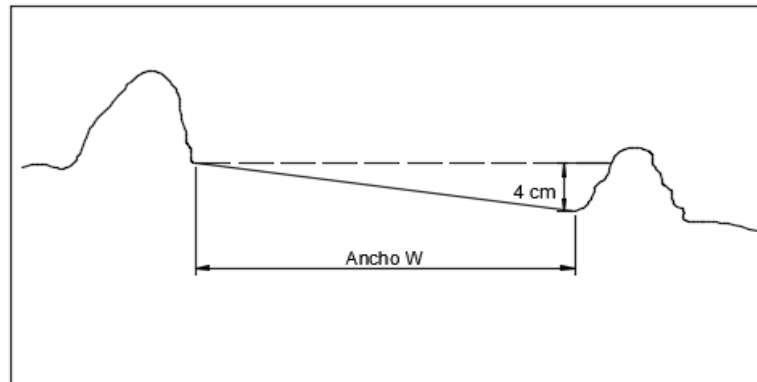


Imagen 8. Ancho de la melga. Copyright 2001 por Temístocles Maldonado R.

Manual de Diseño de Métodos de Riego (2001).

2.4.6 Altura de los bordes

Para poder estimar la altura de los bordes, es necesario calcular el espesor de flujo D_o ;

Vásquez et al. (2017) propone las siguientes ecuaciones para su cálculo:

Cuando existe pendiente de terreno elevada $S_o > 0.4\%$

$$D_o = \frac{q^{0.6} * n^{0.6}}{S_o^{0.3}} \quad (52)$$

Donde:

q = gasto unitario (m³/seg/mtr)

n = coeficiente de rugosidad de Manning

S_o = pendiente longitudinal del terreno (decimal)

Cuando existe pendiente $S_o < 0.4\%$

$$D_o = 2.454tr^{3/16} * q^{9/16} * n^{3/8} \quad (53)$$

Donde:

tr = tiempo de retiro vertical (min)

q = gasto unitario (m³/seg/mtr)

n = coeficiente de rugosidad de Manning

Tabla 35

Coeficiente de rugosidad

Cobertura	n
Surco recién abierto	0.042
Surco después de dos riegos	0.033
Vegetación 10 a 12 cm uniformemente distribuida	0.040
Vegetación 40 a 50 cm uniformemente distribuida	0.076

Manual de Diseño de Métodos de Riego. (2001). Coeficiente de rugosidad de Manning para el diseño de surcos o melgas, febrero 2001 [Tabla].

2.5 Ejercicio de diseño por melgas.

Para el siguiente ejercicio, se diseñará para el cultivo de la alfalfa debido a que para su desarrollo necesita gran cantidad de agua; la textura del suelo será franco arcilloso y pendientes moderadas.

Se ha programado una tabla de cálculo para facilitar su desarrollo la misma que esta explicada a continuación. Las celdas de color amarillo serán llenadas a criterio del diseñador o por la ayuda de tablas, las celdas de color café serán los datos que son necesarios para iniciar con el diseño.

2.5.1 Datos preliminares

La superficie de la tabla hace referencia al espacio en donde estará el agua para el riego del sistema.

Pendiente	N-S	2.5	%	0.025	
	E-O	0.6	%	0.006	
Superficie de la tabla		6	ha		
Ln		100	mm	10	cm
Lb		150	mm	15	cm
LAA		151.2	mm	15.12	cm
LARA		90.72	mm	9.072	cm
Caudal disponible	Q _o	60		ltr/seg	
Efa		65	%	0.65	

Tabla 36. Datos preliminares

Para el cálculo de los factores de la ecuación de infiltración, se aplicará el método de los mínimos cuadrados; dicho método ya fue explicado y programado con anterioridad.

La longitud de la melga se obtendrá por medio de la tabla 34 en base a su pendiente; el factor n se obtiene por medio de la tabla 35 y ΔH será la diferencia de altura de un lado a otro de la platabanda, el mismo que esta entre 4 – 6 cm.

Ecuación de Infiltración				
$I_{cum} = At^B$	mm	A	2.41	
t	min	B	0.59	
L	220	mtrs	TABLA 8	
Ib	9	mm/hr	0.9	cm/hr
ΔH	5	cm	0.05	mtrs
e	2.71828			
Manning (n)	0.042			

Tabla 37. Datos preliminares

2.5.2 Desarrollo

En primer lugar, se deberá calcular el ancho de la melga por medio de la ecuación (51), que será un dato necesario para obtener el caudal por unidad de ancho; mismo que se obtiene con la ayuda de la expresión (47).

Ancho de la melga		
W	8.333333	mtrs
Caudal por unidad de ancho		
Qw	7.2	ltr/seg/mtr
Qw	0.0072	m3/seg/mtr

Tabla 38. Resultados de diseño.

El gasto unitario se calcula por medio de la ecuación (48), es necesario obtener el dato del tiempo de retiro vertical t_r , este se obtiene por medio de la ecuación (49). El tiempo de reposición de agua en el suelo está dado por las láminas de riego mismo que se consigue por medio de la ecuación (11).

Reposición de agua al suelo		
t2	553	min
Tiempo de retiro vertical		
tr	0.022038	min

Tabla 39. Resultados de tiempos.

Gasto unitario		
q	1.02305533	lts/seg/mtr
q	0.00102306	m3/seg/mtr

Tabla 40. Resultado de gasto unitario.

Luego se debe calcular el caudal que ocupa la melga en el diseño, para esto será necesario utilizar la ecuación (50).

Caudal de la melga		
Q	18.7560144	ltrs/seg

Tabla 41. Caudal de cada melga.

El tiempo necesario para regar cada melga se calcula por medio de la siguiente expresión.

$$T = \frac{Ln}{3.6q} \quad (54)$$

Donde:

Ln = lamina neta

q = gasto unitario

Para el cálculo del tiempo total de riego, se utilizará la siguiente ecuación.

$$Tt = \frac{416.67 * T * Sp}{W * L} \quad (55)$$

Donde:

Sp = superficie de la tabla de riego

W = ancho de la melga

L = longitud de la melga

Tiempo de riego por melga		
T	2.71517844	horas
Tiempo total de riego		
Tt	0.92563642	
Tt	1	días

Tabla 42. Tiempos de riego.

Para el diseño de la altura de los bordes, es necesario el cálculo del espesor del flujo; su desarrollo depende de la pendiente de la melga, existen dos condiciones.

Cuando $S_o > 0.4$ se aplicará la ecuación (52); en el caso contrario $S_o < 0.4$ se usará la ecuación (53). Existe un factor que está a criterio del diseñador este es el borde libre de la altura, su valor se lo puede colocar con la ayuda de la imagen 5.

El factor del borde libre deberá ser sumado al valor del espesor del flujo para hallar la altura de los bordes; se usará el valor en el cual la celda indique la palabra resultado.

Altura de los bordes					
Borde libre	5	cm			
Espesor del flujo					
Si $S_o > 0.4$					
	D _o	0.00725282	mtrs		NO USAR
		0.72528224	cm	Hmax	5.72528224 cm
Si $S_o < 0.4$					
	D _o	0.00760338	mtrs		USAR
		0.76033762	cm	Hmax	5.76033762 cm

Tabla 43. Altura de los bordes en sus dos condiciones.

Para conocer si la melga es capaz de soportar el caudal calculado, se deberá conocer un límite o caudal máximo de la melga; mismo que se determinará por medio de la siguiente expresión.

$$Q_{max} = C * S^{-0.75} \quad (56)$$

Donde:

C = factor adimensional

So = pendiente longitudinal del terreno (porcentaje)

El factor C se puede obtener de la siguiente manera:

C = 9.3 cuando existe cubierta vegetal

C = 5.6 cuando no existe cubierta vegetal

En la hoja de cálculo, el diseñador deberá elegir el valor de C y colocarlo en el recuadro amarillo para que el programa pueda calcular el caudal máximo.

Caudal máximo			
Qmax	4.67765236	ltrs/seg	CUMPLE
Factor c			
con cubierta vegetal	9.3		
sin cubierta vegetal	5.6		
c	9.3		
Eficiencia			
Efa	66.6666667	%	BUENA

Tabla 44. Caudal máximo y factor C.

Para finalizar el diseño, se deberá calcular la eficiencia con la que el sistema va a trabajar, esto se hace por medio de la ecuación (8). Dicha eficiencia deberá ser mayor a un 50% para que el sistema funcione adecuadamente.

Capítulo 3: DISEÑO DE SISTEMAS DE RIEGO PRESURIZADOS.

3.1 Diseño del Riego por Aspersión

Este método consiste en entregar el agua a las plantas en forma de lluvia a través del aire, este sistema se lo puede emplear en la mayoría de las plantas; es adaptable a casi todos los suelos gracias a los aspersores que son utilizados para este tipo de riego.

Este tipo de riego según Maldonado (2001) alcanza eficiencias entre los 70 a 80%, puede ser utilizado en terreno con pendiente de hasta un 20%; no es recomendable en terrenos con altas velocidades de viento máximo 3 mtrs/seg.



Imagen 9. Riego por aspersión. Copyright 2012 por Víctor Cadena R. Hablemos de Riego (2012)

3.1.1 Componentes del equipo de riego

- a) **Motobomba.** – Es la fuente de energía encargada de succionar el agua desde una fuente de abastecimiento. Fernández et al. (2010) menciona que la presión que debe proporcionar la bomba debe ser suficiente para compensar las pérdidas de energía por fricción (h_f), la diferencia de cota del terreno (ΔH), la presión de trabajo del aspersor (P_a) y la altura de succión (h_s). La presión total de bombeo se conoce como carga dinámica total (CDT), está junto con el caudal de descarga, permiten seleccionar la bomba requerida.

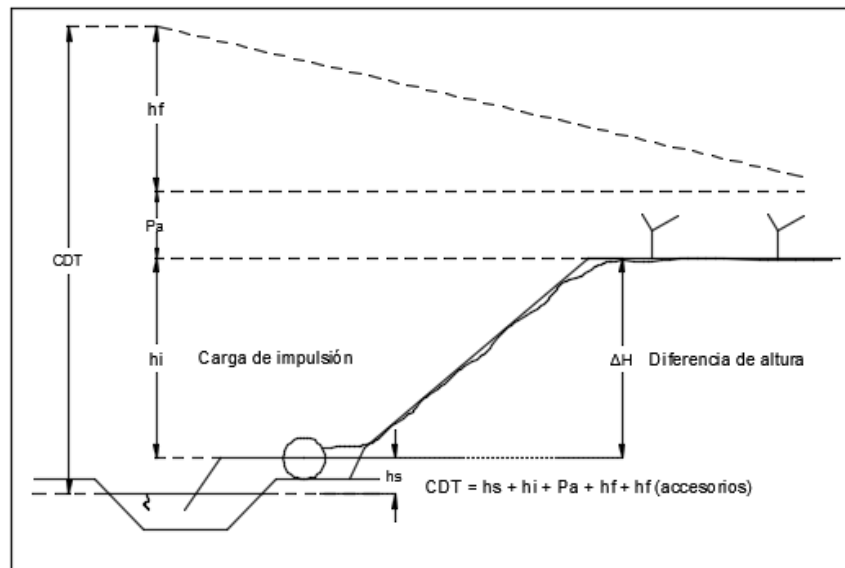


Imagen 10. Presión de bombeo. Copyright 2010 por Temístocles Maldonado R.

Manual de Diseño de Métodos de Riego (2001).

- b) **Red de distribución.** – Está compuesto por las tuberías principales, secundarias y las laterales de riego; estas pueden ser fijas o móviles dependiendo del sistema de riego a emplearse.
- c) **El aspersor.** – Es el componente principal de este tipo de sistema de riego, según Fernández et al. (2010) este llega a determinar la efectividad y eficiencia de todo el sistema. El área mojada de un aspersor corresponde a un círculo con la cantidad de agua aplicada, esta disminuye a medida que la distancia desde el aspersor aumenta.

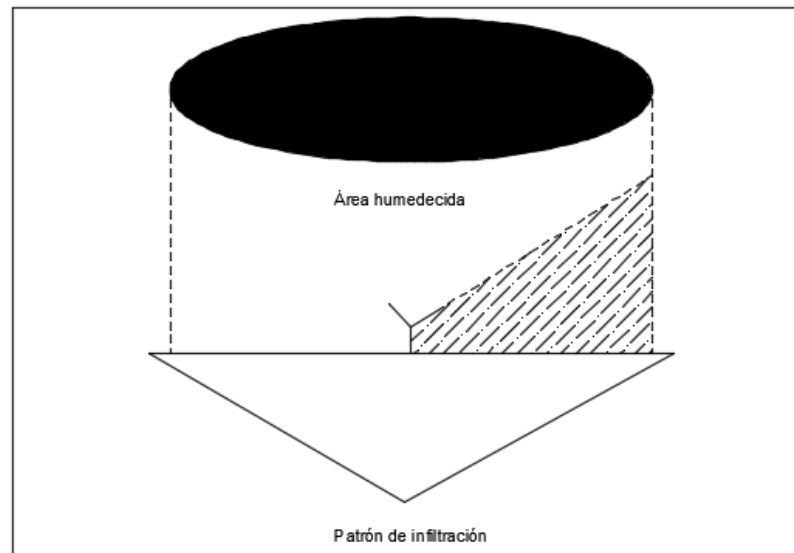


Imagen 11. Patrón de humedecimiento de un aspersor. Copyright 2010 por Temístocles Maldonado R. Manual de Diseño de Métodos de Riego (2001).

3.1.2 Selección del tipo de aspersor.

3.1.2.1 Disposición de los aspersores. – Maldonado (2001) habla de tres esquemas de disposición en el campo: en cuadrado, en triángulo y en rectángulo; siendo la triangular la que obtiene la mejor distribución de la precipitación, esta solo es recomendable para sistemas fijos.

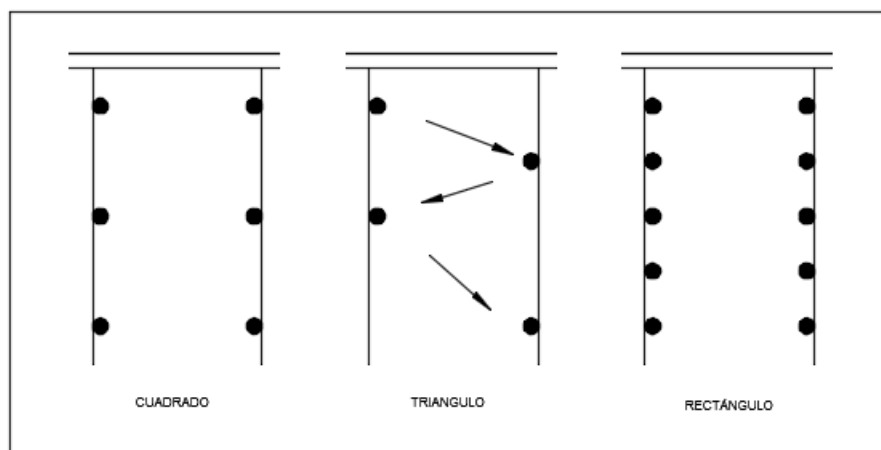


Imagen 12. Disposición de los aspersores. Copyright 2001 por Temístocles Maldonado R. Manual de Diseño de Métodos de Riego (2001).

3.1.2.2 Distanciamiento entre aspersores. – Un adecuado espaciado entre aspersores permite obtener un mayor coeficiente de uniformidad y eficiencia de aplicación del agua, Maldonado (2001) considera adecuado un traslape de áreas mojadas

entre un aspersor y otro, debido a que la cantidad de agua aportada por el aspersor disminuye conforme avanza la distancia desde el instrumento, logrando así un perfil de humedecimiento uniforme bajo el suelo.

La magnitud del traslape esta dado por las condiciones del viento y la distribución de los aspersores en el campo, Fernández et al. (2010) recomienda que el espaciamiento máximo entre laterales debe ser el 50% del diámetro húmedo del aspersor.

Tabla 45

Espaciamiento entre aspersores

Vel. Viento, km/hr	%(DH)
0.0	65
< 8.0	60
8 – 16	50
> 16	30

Riego por aspersión. (2010). Espaciamiento máximo entre aspersores, febrero 2010 [Tabla].

DH = Diámetro húmedo

Tabla 46

Espaciamiento entre aspersores y laterales

V. viento, km/hr	Cuadrado	Rectángulo	Triangulo
0 – 5	55	50 x 60	60
6 – 12	50	45 x 60	55
13 – 19	45	40 x 60	50

Riego por aspersión. (2010). Espaciamiento máximo entre aspersores y laterales, febrero 2010 [Tabla].

Ea = espaciamiento entre aspersores

El = espaciamiento entre laterales

3.1.2.3 Selección del tipo de aspersor. – Para el sistema de riego actual el dimensionamiento de las tuberías, unidad de bombeo, así como otros elementos hidráulicos; depende del tipo de aspersor que se va a utilizar. Maldonado (2001) plantea el siguiente procedimiento para la selección del tipo de aspersor:

- Asumir una distancia entre aspersores y laterales: $Ea \times El$
- Determinar el caudal máximo del aspersor en base a la siguiente ecuación.

$$q_{max} = (Ea \times El) * VIb \quad (57)$$

Donde:

VIb = velocidad de infiltración básica del suelo (mm/hr) (tabla 47)

- Con q_{max} entrar al catálogo del fabricante y seleccionar el tipo de aspersor, anotando las especificaciones técnicas del mismo: tipo de aspersor (código), caudal de descarga ($q_{Asp} < q_{max}$), presión de trabajo, diámetro de humedecimiento, diámetro de boquilla, etc.
- Comprobar si $Ea \times El$ asumidos cumplen las condiciones de velocidad del viento, que garanticen un traslape adecuado. Si no se cumple, asumir nuevos valores de $Ea \times El$ y comprobar nuevamente.
- Verificar que la intensidad de la precipitación del aspersor sea menor que la infiltración básica del suelo, la I_p del aspersor debe ser corregida según la pendiente del terreno, de acuerdo con los valores que se presentan en la tabla 48.

$$I_p = \frac{q_{ASP}}{Ea \times El}; I_p \leq VIb \quad (58)$$

Donde:

q_{ASP} = caudal del aspersor. (mtrs³/hr)

I_p = intensidad de precipitación. (mm/hr)

VIb = velocidad de infiltración básica. (mm/hr)

Tabla 47

Velocidad de infiltración

Tipo de suelo	VI (mm/hr)
Arcilloso	2.5 a 6.0
Francos	6.0 a 12.0
Arenosos	12.0 a 18.0

Manual de Diseño de Métodos de Riego. (2001). Velocidad de precipitación según textura del suelo, febrero 2001 [Tabla].

Tabla 48

Porcentaje de reducción de la IP

Pendiente, %	% de reducción de la Ip
0 – 5	0
6 – 8	20
9 – 12	40
13 – 20	60

Manual de Diseño de Métodos de Riego. (2001). Porcentaje de reducción de la Ip del aspersor, según pendiente del terreno, febrero 2001 [Tabla].

3.1.3 Pérdida de carga en tuberías

3.1.3.1 Ecuaciones para el cálculo de la pérdida de carga

La ecuación que permite evaluar con más exactitud la pérdida de carga en tuberías es la fórmula de Darcy – Weisbach, la que se expresa de la siguiente manera:

$$hf = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g} \quad (59)$$

Donde:

f = coeficiente de fricción, que se lee en el Diagrama de Moody

L = longitud de la tubería, (mtrs)

D = diámetro interno de la tubería, (mtrs)

V = velocidad media del fluido, (mtrs/seg)

g = aceleración gravitacional, 9.81 (mtrs/seg²) (32.2 pies/seg²)

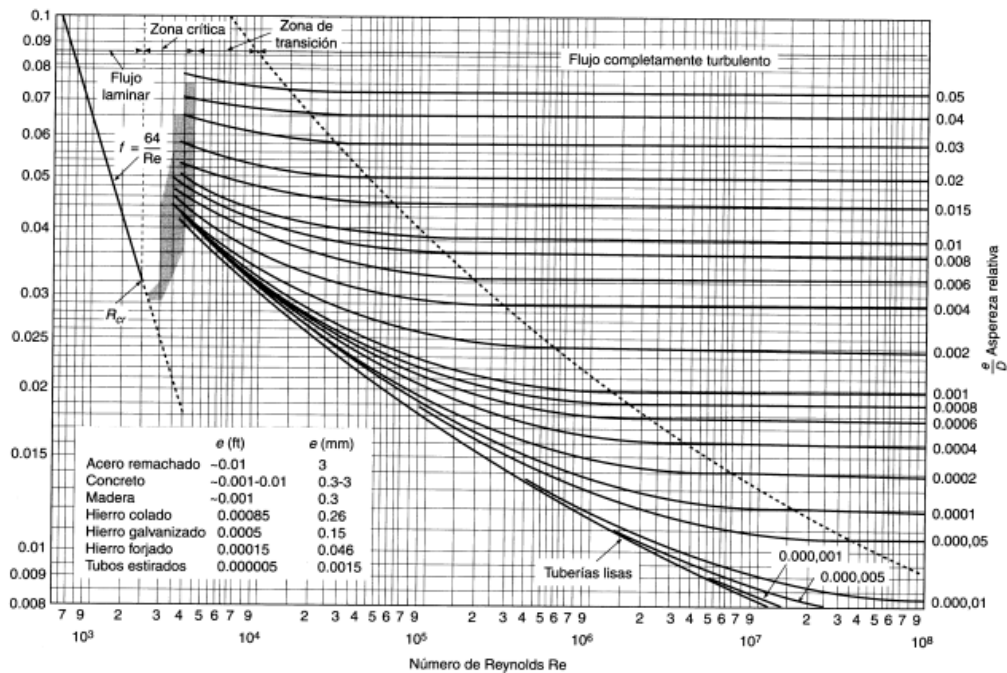


Imagen 13. Diagrama de Moody. Copyright 1944 por L.F. Moody. Ingeniería de Fluidos (1944).

También se la puede expresar de la siguiente manera:

$$hf = f * \frac{L}{D^5} * \frac{8Q^2}{\pi^2 * g} \quad (60)$$

Donde:

Q = caudal a utilizar para el sistema, (mtrs³/seg)

hf = pérdida de carga, (mtrs)

Otra ecuación que se utiliza mucho en riego presurizado es la fórmula de Hazen – Williams, según Maldonado (2001) tiene la siguiente forma:

$$hf = J * L \quad (61)$$

$$J = K * \left(\frac{Q}{C}\right)^a * D^{-b}$$

Donde:

J = gradiente de pérdida de carga, (mtrs/100mtrs)

Q = caudal, (mtrs³/hr)

C = coeficiente de fricción, según el material de la tubería

D = diámetro interno de la tubería, (mm)

$K = 1.131 \times 10^{12}$. Si $j = \%$; $K = 0.1131 \times 10^{12}$

$a = 1.852$

$b = 4.87$

Tabla 49

Coeficiente C

Según el SCS ²		Según Plastigama		
Material de la tubería	C	Material de la tubería	Tramos rectos sin accesorios	Tramos con curvas y accesorios
Plástico $\geq 4''$ (11.0mm)	150	PVC	160	150
Plástico 2 y 3'' (63 – 90 mm)	140	Al	130	120
Al. (con acoples)	130			

Manual de Diseño de Métodos de Riego. (2001). Valores del coeficiente C en la fórmula de Hazen – Williams, según pendiente del terreno, febrero 2001 [Tabla].

3.1.3.2 Pérdida de carga en tuberías con varias salidas

Generalmente el riego a presión tiene varias salidas en sus tuberías, Fernández et al. (2010) indica que, si tenemos un lateral con 5 aspersores, el cálculo de pérdidas por fricción se dará de la siguiente manera:

² SCS. – Servicio de Conservación de Suelos, EE. UU.

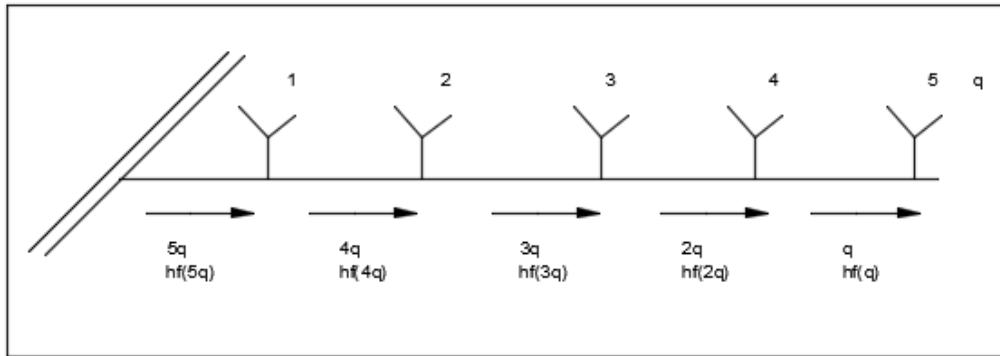


Imagen 14. Pérdida de carga por fricción en un lateral de aspersores. Copyright 2010 por Fernández et al. Riego por aspersión (2010).

Según la imagen 12, la pérdida total en la lateral de riego se podría expresar como:

$$hf_T = hf(5q) + hf(4q) + \dots + hf(q)$$

En el caso que se deba calcular una lateral con 100 microaspersores, se tendría que hacer 100 cálculos; para evitar todo eso, se debe calcular un coeficiente de reducción de pérdidas de carga F , que depende del número de salidas n según Fernández et al. (2010) dicho factor se expresa de la siguiente manera:

$$F(n) = \frac{1}{n^{\alpha+1}} * \sum_{i=1}^n i^{\alpha} ; \alpha = 1.852$$

Considerando el factor F , la pérdida total de carga en un lateral con varias salidas se podría expresar como:

$$hf(1) = hf * F \quad (62)$$

Donde:

hf = pérdida de carga (mtrs)

3.1.4 Diseño de laterales de aspersión

3.1.4.1 Distribución de presiones en un lateral de riego

La presión media de una lateral situada horizontalmente se encuentra a una distancia de aproximadamente 40%(L) desde la entrada lateral. Cadena (2012) indica que a esta distancia se produce el 75% de la pérdida total de energía, y el 25% hacia abajo del referido punto. La representación gráfica de la presión en un lateral es una curva con gradiente decreciente.

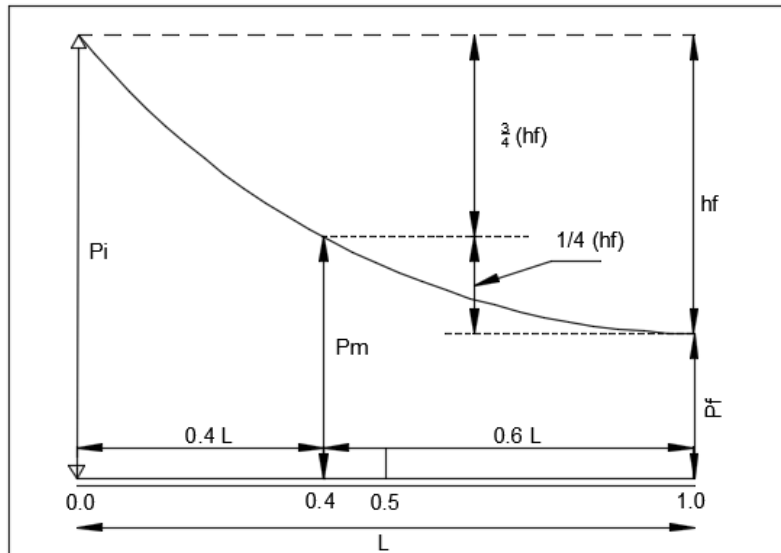


Imagen 15. Distribución de presión en un lateral situado horizontalmente. Copyright 2001 por Temístocles Maldonado R. Manual de Diseño de Métodos de Riego (2001).

De la imagen 13 se deducen las siguientes ecuaciones:

$$P_i = P_m + \frac{3}{4} hf \quad (63)$$

$$P_f = P_m - \frac{1}{4} hf \quad (64)$$

Donde

P_i = presión inicial

P_m = presión media

P_f = presión final

Según Maldonado (2001) la carga o energía necesaria en el principal o tubería principal para operar el lateral está dada según la posición del lateral respecto a la pendiente, para ello se presentan los siguientes casos:

a) Lateral pendiente arriba

$$H_{ppl} = P_m + \frac{3}{4} hf + \frac{1}{2} \Delta E + H_e \quad (65)$$

Donde:

H_{ppl} = energía que requiere el principal para operar el lateral, (mtrs)

hf = pérdida por fricción en el lateral, (mtrs)

ΔE = diferencia de elevación entre la entrada y salida del lateral, (mtrs)

H_e = altura del elevador, (mtrs)

Existe una restricción de diseño para este caso la misma que dice:

$$hf_{max} \leq 20\% P_m - \Delta E \quad (66)$$

$$\Delta H_t = hf + \Delta E \quad (67)$$

Donde ΔH_t es la diferencia de carga en el lateral y P_m es la presión media del aspersor

b) Lateral pendiente abajo

$$H_{ppl} = P_m + \frac{3}{4} hf - \frac{1}{2} \Delta E + H_e \quad (68)$$

Donde:

H_{ppl} = energía que requiere el principal para operar el lateral, (mtrs)

hf = pérdida por fricción en el lateral, (mtrs)

ΔE = diferencia de elevación entre la entrada y salida del lateral, (mtrs)

H_e = altura del elevador, (mtrs)

De la misma manera la restricción de diseño es la siguiente:

$$hf_{max} \leq 20\% P_m + \Delta E \quad (69)$$

$$\Delta H_t = hf - \Delta E \quad (70)$$

3.1.4.2 Selección del diámetro del lateral

El diámetro del lateral se debe seleccionar en base a ciertos criterios Fernández et al (2010) nos indica que las máximas pérdidas de presión no deben ser mayores al 20% de la presión media del aspersor, con lo cual se espera que la diferencia de caudal entre el primer y último aspersor no sobrepase el 10%.

Se recomienda seguir el siguiente procedimiento:

- Asumir un diámetro lateral

- Calcular las pérdidas por fricción del lateral
- En el caso de que las pérdidas por fricción calculadas sean mayores a las máximas permitidas, se deberá asumir un diámetro mayor y calcular nuevamente.

3.1.5 Diseño de la tubería principal

3.1.5.1 Tuberías de PVC

Estas tuberías son las más utilizadas para los sistemas de riego presurizados, se debe tener presente que la clase de tubería guarda directa relación con la presión interna que esta es capaz de soportar, esto lo indica las siguientes tablas.

Tabla 50

Clase de tubo PVC

Clase	mca	PSI	Kg/cm ²	Atmosferas
4	40	57	4	3.87
6	60	85	6	5.81
10	100	142	10	9.68

Manual de Diseño de Métodos de Riego. (2001). Clase de tubo PVC según presión de trabajo, febrero 2001 [Tabla].

Tabla 51

Diámetros de tuberías

Diámetro, mm	Diámetro, pulg	Diámetro, mm	Diámetro, pulg
12	1/4	75	2 – 1/2
16	3/8	90	3
20	1/2	110	4
25	3/4	125	4 – 1/2
32	1	140	5
40	1 – 1/4	160	6
50	1 – 1/2	200	8
63	2	250	10

Manual de Diseño de Métodos de Riego. (2001). Diámetros comerciales de tuberías, febrero 2001 [Tabla].

3.1.5.2 Selección del diámetro del principal

Para el diseño de tubería del principal que alimenta al lateral, se puede hacer ya sea en base al criterio de pérdida máxima o velocidad máxima permisible. Los criterios de diseño de la línea principal son:

- $hf_{max} = 3.0 \text{ y } 7 \text{ mtrs}$
- $V_{max} = 1.5 \text{ y } 3.0 \text{ mtrs/seg}$

El diámetro del tubo que transporta un caudal a cierta velocidad se puede expresar como:

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * V}} = 1.128 * \sqrt{\frac{Q}{V}} \quad (71)$$

Donde:

D = diámetro del tubo, (mm)

Q = caudal. (Lts/hr)

V = velocidad, (mtrs/seg)

3.1.6 Selección del equipo moto – bomba

Esta es la unidad de energía encargada de succionar el agua desde la fuente de abastecimiento, impulsarla a través de las tuberías de conducción y entregarla a los aspersores a la presión que se requiere; la carga dinámica total junto con el caudal de descarga, permiten la selección de dicho equipo.

3.1.6.1 Calculo de la carga dinámica total – CDT

Fernández et al (2010) indica una expresión para calcular este parámetro, la misma que se determina en base al cálculo de diferentes componentes; y esta expresado en la siguiente ecuación:

$$CDT = \sum (H_s + hf_s + H_{ppal} + hf_{ppsl} \pm \Delta E_{ppal}) + H_{acc} \quad (72)$$

Donde:

H_s = altura de succión (mtrs)

h_{fs} = pérdida por fricción en la succión (mtrs)

H_{ppal} = carga en el principal para operar el lateral (mtrs)

H_{fppal} = pérdida por fricción en el principal (mtrs)

ΔE_{ppal} = carga por diferencia de elevación en el principal (mtrs)

H_{acc} = pérdida por fricción en accesorios, aproximadamente $10\% \sum (H$
anterior) (mtrs)

3.1.6.2 Calculo de la potencia de la bomba

Fernández et al (2010) indica que la potencia en el eje de la bomba para elevar una determinada cantidad de agua, imprimiéndole una presión al fluido para vencer CDT, se calcula con la siguiente ecuación:

$$Pb(Kw) = \frac{Q * CDT}{102 * Efb} \quad (73)$$

Donde:

P_b = potencia de la bomba, (Kw)

Q = caudal de la descarga, (ltrs/seg)

CDT = carga dinámica total, (mtrs)

E_{fb} = eficiencia de la bomba, $E_{fb} = 70$ a 80% (decimal)

La potencia de la bomba está en HP, se puede calcular como:

$$Pb(HP) = Pb(Kw) * 1.341 \quad (74)$$

La potencia del motor se calcula con la siguiente relación:

$$Pm = \frac{Pb}{Efm} \quad (75)$$

Donde

E_{fm} = eficiencia del motor

La eficiencia de motores eléctricos esta alrededor del 84%; los motores a combustión interna tienen una eficiencia cercana al 60%.

Los catálogos del fabricante traen la corrección por eficiencia del motor, no siendo necesario volver a considerarla.

3.1.6.3 Selección e instalación del grupo motobomba

Una vez ya seleccionada el tipo de bomba antes de proceder a la instalación, Fernández et al (2010) señala que se debe limitar la altura de succión (hs) para evitar el problema de cavitación³ este problema podría destruir la bomba.

En los catálogos de fabricante se podrá encontrar la carga de succión neta requerida (NPSHr), para poder instalar la bomba se deberá calcular la carga de succión neta positiva disponible (NPSHd). Si $NPSHd \geq NPSHr$, la bomba funcionara eficientemente sin ningún problema de cavitación.

$$NPSHd = Patm - (hs + hfs + Pva) \quad (76)$$

Donde

Patm = presión atmosférica del lugar, (mtrs) (tabla 52)

hs = carga estática de succión, (mtrs)

hfs = pérdida por fricción en la succión, (mtrs)

Pva = presión del vapor de agua a la temperatura de operación, (mtrs)

(tabla 53)

³ Cavitación. - Es un efecto hidrodinámico que se produce cuando se crean cavidades de vapor dentro del agua o cualquier otro fluido en estado líquido en el que actúan fuerzas que responden a diferencias de presión

Tabla 52

Presión atmosférica

Altitud, msnm	Presión atmosférica, mtrs
0.0	10.0
305.0	9.6
610.0	9.3
915.0	9.0
1000.0	9.2
1220.0	8.6
2000.0	8.1
3000.	7.2

Manual de Diseño de Métodos de Riego. (2001). Presión atmosférica según altitud, febrero 2001 [Tabla].

Tabla 53

Presión del vapor de agua

Temp. Agua, °C	0	5	10	15	20	25	30	40	50
Presión vapor, mtrs	0.06	0.09	0.13	0.17	0.24	0.32	0.43	0.76	1.18

Manual de Diseño de Métodos de Riego. (2001). Presión del vapor de agua (Pva) según la temperatura, febrero 2001 [Tabla].

La altura máxima de succión se puede calcular con la siguiente expresión.

$$h_{max}(suc) = Patm - NPSHr - hfs - Pva \quad (77)$$

Las alturas máximas de succión según Maldonado (2001) son:

- Bombas centrífugas: entre 5 y 7 mtrs
- Bombas autocebantes: entre 8 y 9 mtrs

En los sistemas de riego por aspersión podemos encontrar sistemas fijos, móviles y semifijos; en la Provincia del Cañar los sistemas que se aplican son los fijos y semifijos

3.1.7 Aspersión semifija

Estos tipos de sistemas suelen tener fijas la estación de bombeo y la red de tuberías principales, esta va enterrada y de ella se derivan los hidrantes donde serán conectadas las tuberías laterales y los aspersores, las mismas que se moverán por la parcela para lograr una cobertura de riego total.

3.1.8 Ejercicio de diseño por aspersión.

En el siguiente ejercicio se diseñará un sistema completo de aspersión semifija, ya que esta es la que más pasos contiene para su completo cálculo, en la hoja de cálculo existen recuadros en amarillo, estos deberán ser llenados por el diseñador con datos obtenidos ya sea en tablas o por criterio personal, los recuadros en color café son los datos necesarios para iniciar el cálculo del sistema; debido a que los cálculos para este tipo de sistema son trabajados por tanteo y luego serán corroborados por diferentes condiciones a cumplir.

El cultivo a regar será la alfalfa por ser esta una planta con requerimientos hídricos altos.

Los datos necesarios para iniciar el diseño son: datos de parcela, cultivo, suelo y datos de riego; los mismos que están especificados en las siguientes imágenes.

En los datos de la parcela serán necesarios su área total de riego, largo y ancho del terreno, la velocidad del viento en el sector, su altitud, para las pendientes serán necesarios los planos topográficos que contengan las elevaciones de las curvas de nivel.

Datos de la parcela			Largo	Ancho	
At	3.6	ha	180	180	mtrs
Vel. Viento	3	mtr/seg	10.8	Km/hr	
Pendiente	N-S	Según plano topográfico			
	E-O				
Altitud	300	msnm			

Tabla 54. Datos de parcela

En los datos del cultivo serán necesarios la evapotranspiración máxima de la planta y la profundidad de sus raíces.

Datos del cultivo			
Tipo	alfalfa		
Etmax	5	mm/día	
Profundidad de raíces		0.8	mtrs

Tabla 55. Datos del cultivo

Para obtener los datos del suelo se deberá tomar una muestra del terreno y llevarla a laboratorio para el análisis y obtención de las incógnitas especificadas en la siguiente tabla.

Datos del suelo			
Textura	franca		
Humedad a capacidad de campo	27	%	0.27
Índice de marchitez permanente	13	%	0.13
Densidad aparente	1.3	gr/cm ³	
Profundidad efectiva	1	mtrs	
Profundidad total	70	%	0.7
Capacidad de infiltración básica	12	mm/hr	

Tabla 56. Datos del suelo

En los datos del riego serán únicamente criterio del diseñador, la eficiencia de aplicación del agua se obtendrá de la siguiente tabla.

Tabla 57

Eficiencia de riego

Clima	Eficiencia, %
Desértico	65
Cálido y seco	70
Moderado	75
Húmedo o frío	80

Manual de Diseño de Métodos de Riego. (2001). Eficiencia de riego por aspersión según tipo de clima, febrero 2001 [Tabla].

Datos del riego				
Jornada de riego	12	hr/día		
Criterio de riego	regar al consumir	50	%	de la humedad disponible
		0.5		
Días no laborables	2	días		
Eficiencia de aplicación del agua	75	%	0.75	Tabla

Tabla 58. Datos del riego

3.1.8.1 Cálculo de los parámetros técnicos

Los parámetros técnicos a calcular serán: lámina de agua aprovechable con la ayuda de la ecuación (2).

Lámina de agua rápidamente aprovechable se puede calcular también por medio de la siguiente ecuación.

$$LARA = Cr * LAA \quad (78)$$

Donde:

Cr es el criterio de riego impuesto por el diseñador.

LAA = lámina de agua aprovechable (mm)

La frecuencia de riego se podrá calcular por medio de la ecuación (15), la lámina de riego ajustada por medio de la ecuación (17).

El periodo de riego se lo obtiene también por medio de la siguiente ecuación.

$$Pr = Fr(aj) - \text{dias de paro} \quad (79)$$

La lamina bruta se obtiene por medio de la ecuación (4) con la excepción de que en esta se usara la lámina de riego ajustada.

Lámina de agua aprovechable		
LAA	0.10192	mtrs
	101.92	mm
Lámina de agua rápidamente aprovechable		
LARA	50.96	mm

Tabla 59. Resultados de diseño

Frecuencia de riego		
Fr	10.192	días
Fr (aj)	10	días
Lamina de riego ajustada		
LARA(aj)	50	mm

Tabla 60. Resultados de diseño

El periodo de diseño deberá cumplir con la condición de que $Pr \leq Fr$ para continuar con su calculo

Periodo de riego		
Pr	8	días
Condición	$Pr \leq Fr$	CUMPLE
Lamina bruta		
Lb	66.66666667	mm
	67	mm

Tabla 61. Resultados de diseño

3.1.8.2 Selección del tipo de aspersor

Para la selección de este equipo se deberá seguir el procedimiento indicado en el punto 3.1.2.3.

Datos asumidos			
Ea	12	mtrs	
El	12	mtrs	
Vib	12	mm/hr	Tabla 47
Caudal máximo del aspersor			
qmax(asp)	1.728	m ³ /hr	Dato de referencia

Tabla 62. Datos para la selección del tipo de aspersor

El caudal máximo del aspersor calculado es la cantidad límite de agua que se entregara al sistema, por lo que es recomendable buscar un aspersor con un caudal inferior a este, con el fin de evitar saturación en tuberías y accesorios; por lo que dicho valor será usado como dato de referencia para luego consultar los catálogos de fabricantes, y así encontrar dicho aspersor que permita un caudal más adecuado. El catalogo que se consultó pertenece a PLASTIGAMA en este se puede encontrar el aspersor NAAN 323 – ¾” sus características serán ingresadas en la hoja de cálculo, como se muestra en la siguiente tabla.

Datos del aspersor según catalogo			
Caudal del aspersor	Qasp	1.65	m ³ /hr
Presión de trabajo	Pa	3	atm
Diámetro de humedecimiento	DH	26	mtrs
Boquilla	Largo	4.5	mm
	Ancho	2.5	mm

Tabla 63. Datos del catálogo de aspersores

Siguiendo con los pasos del punto 3.1.2.3, se deberá comprobar si el espaciamiento entre aspersores (Ea) y el espaciamiento entre laterales (El) impuestos cumplen con las condiciones de diseño; para esto es necesario hallar el porcentaje del diámetro húmedo, este se encuentra en las tablas 45 y 46 con la ayuda de la velocidad del viento.

Los nuevos valores de Ea y El se obtendrán al multiplicar este porcentaje con los datos impuestos, por lo que el resultado de este nuevo cálculo será el rango máximo de separación.

Si los datos impuestos son menores al rango máximo se seguirá diseñando con Ea y El impuestos anteriormente.

Comprobación de EaxEl			
Con Vel. Viento en las tablas 10 y 11			
DH(Ea)	50	%	0.5
DH(El)	50	%	0.5
Ea(max)	13	mtrs	ACEPTADO
El(max)	13	mtrs	ACEPTADO

Tabla 64. Comprobación de rangos para Ea y El w

Luego de comprobar los valores de Ea y El se procede a el cálculo de la intensidad de precipitación del aspersor por medio de la ecuación (58), al mismo tiempo de que este valor deberá cumplir la condición de que $I_p \leq V_{ib}$; en el caso de que esta condición no se cumpliera se deberá tomar nuevos datos del aspersor según el catalogo del fabricante.

El tiempo de riego en sistemas de aspersión se calcula por medio de la siguiente expresión.

$$Tr = \frac{Lb}{I_p} \quad (80)$$

Donde:

Lb = lamina bruta (mm)

I_p = intensidad de precipitación del aspersor (mm/hr)

Intensidad de precipitación del aspersor			
Ip	11.4583333	mm/hr	CUMPLE
Tiempo de riego			
Tr	5.84727273	hr	

Tabla 65. Datos de diseño.

Para la correcta organización y uso del riego por aspersión, los parcelarios deberán saber cuántos turnos de riego por día admite el sistema; para esto es necesaria la siguiente ecuación.

$$\text{Turnos}/\text{día} = \frac{Jr}{Tr + Tadic} \quad (81)$$

Donde:

Jr = jornada de riego (hr/día)

Tr = tiempo de riego (hr)

T adic = tiempo adicional (hr)

Se deberá considerar un tiempo de riego adicional, este será para el cambio del sector a regar en la parcela, este tiempo estará a criterio del diseñador

Turnos de riego por día		
T.adic.	0.5	hr
turnos/día	1.89057577	turnos
	2	turnos

Tabla 66. Turnos de riego por día.

Horas de trabajo al día de aspersores:

$$\text{hr}(\text{riego})/\text{día} = (\text{Turnos}/\text{día}) * Tr \quad (82)$$

Las horas de riego al día no deberán superar a la jornada laboral establecida, esta será su condición de diseño.

Uno de los parámetros importantes, es el caudal mínimo que requiere el terreno para ser regado, se obtiene por medio de:

$$Q_{min} = \frac{Lb * Ar}{Pr * \left(\frac{hr(riego)}{dia}\right)} \quad (83)$$

Donde:

Lb = lamina bruta (mtrs)

Ar = área de riego (mtrs²)

Pr = periodo de riego (días)

hr(riego)/dia = horas de riego por dia (hr/día)

Cada turno de riego necesita cierta cantidad de aspersores, para satisfacer sus necesidades hídricas; este dato se lo calcula mediante:

$$N^{\circ} Asp / Turno = \frac{Q_{req}}{Q_{asp}} \quad (84)$$

Donde:

Q_{req} = caudal mínimo requerido (mtrs³/hr)

Q_{asp} = caudal del aspersor (mtrs³/hr)

Horas de riego por día			
hr(riego)/día	11.69454545	hr/día	CUMPLE
Caudal mínimo requerido			
Qmin	23.20	m3/hr	
	6.45	ltrs/seg	
Numero de aspersores por turno de riego			
N° Asp/turno	14.0625		
	14		

Tabla 67. Datos de diseño.

3.1.8.3 Diseño del sistema de riego

Según los datos proporcionados el área del terreno es de 3.24ha (180 x 180 mtrs). Debido a esto se ha decidido colocar la tubería principal el centro del terreno y dos laterales de 90 mtrs de longitud a los dos lados de la principal; con un espaciamiento entre aspersores de 12 x 12 mtrs.

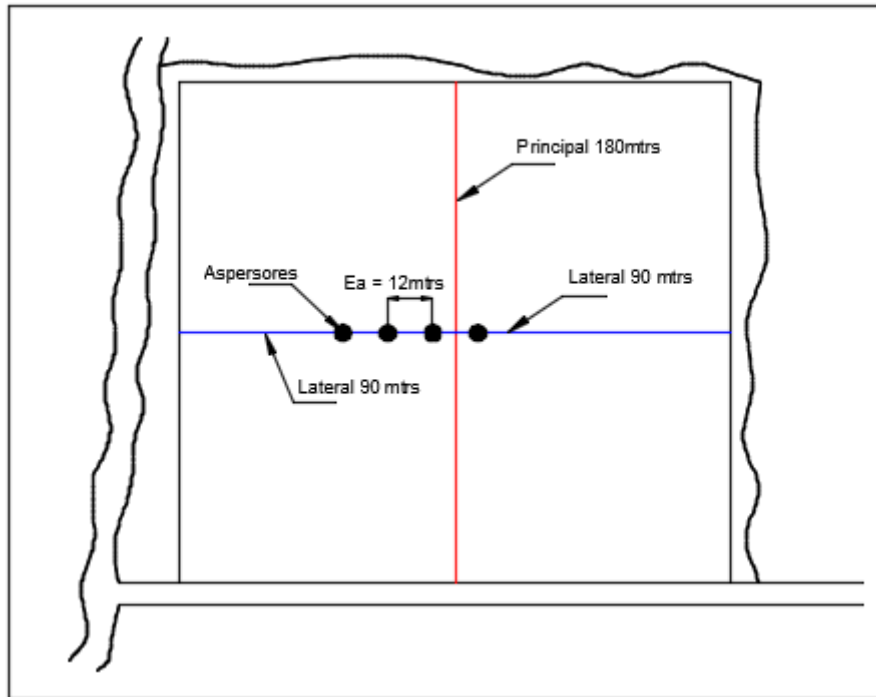


Imagen 16. Disposición de la tubería principal y secundaria en el terreno, separación entre aspersores.

Longitud de la principal	180	mtrs
longitud de las laterales	90	mtrs

Tabla 68. Longitudes de lateral y principal.

En el diseño del sistema de riego es necesario conocer la cantidad de aspersores como de laterales a usar.

Número de aspersores laterales

$$N^{\circ} \text{ Asp/Lat} = \frac{L(\text{lateral})}{Ea} \quad (85)$$

Donde:

$L(\text{lateral})$ = longitud del lateral (mtrs)

Ea = espaciamiento entre aspersores (mtrs)

Para asegurar un correcto traslape entre el radio hidráulico de los aspersores colocados al inicio de cada lateral, estos estarán a la mitad de la distancia ya calculada es decir $Ea/2$.

Número de laterales requeridos

$$N^{\circ} Lat Req = \frac{N^{\circ} Asp / Turno}{N^{\circ} Asp / Lat} \quad (86)$$

Numero de aspersores laterales	
N° Asp/lat	7.5
	8
Distancia de colocación del 1er aspersor	6 mtrs
Numero de laterales requeridos	
N° Lat Req	2

Tabla 69. Cantidad de aspersores y laterales.

En este caso es un sistema de riego semimovil, por lo que sus laterales se moverán constantemente durante el ciclo de riego, debido a esto se deberá calcular el número de posiciones que el lateral tendrá que ocupar en total para completar la necesidad hídrica del terreno; así como las posiciones que ocupará dentro de un día de trabajo.

Número de posiciones laterales en el área de riego

$$N^{\circ} Posic Tot lat / \text{área de riego} = \frac{L(\text{principal})}{El} * N^{\circ} Lat req \quad (87)$$

Donde:

L(principal) = longitud de la tubería principal (mtrs)

El = espaciamiento entre laterales (mtrs)

Número de posiciones totales del lateral por día

$$N^{\circ} Posic Tot lat / \text{día} = N^{\circ} Lat Req * \text{Turnos de riego} / \text{día} \quad (88)$$

N° de posiciones del lateral en el área de riego	
N° Posic. Tot Lat/área de riego	30
N° de posiciones totales del lateral por día	
N° Posic. Tot Lat/día	4

Tabla 70. Posiciones del lateral en el ciclo de riego.

Luego se deberá calcular el periodo de riego y verificar su condición de diseño, en el caso de que esta no cumpla se deberá rediseñar la longitud de las laterales. El periodo de riego en sistemas por aspersión se lo puede calcular de la siguiente manera:

$$Pr = \frac{N^{\circ} \text{ Posic. Tot. Lat}}{N^{\circ} \text{ posic. Lat/día}} \quad (89)$$

Como se lo ha mencionado anteriormente la condición de diseño es que el $Pr \leq Fr$.

Periodo de riego y comprobación		
Pr	7.5	días
	8	días
Comprobación	CONTINUAR	

Tabla 71. Periodo de riego y condición.

3.1.8.4 Diseño hidráulico

Dentro de este punto se diseñará los diámetros de las tuberías, tanto de la principal como de las secundarias; para ello se deberá tomar datos asumidos a criterio del diseñador. Para que estos luego sean comprobados por una serie de condiciones y así verificar si cumplirán o no con los parámetros necesarios para el sistema.

Para inicial el cálculo del diámetro de la tubería lateral, se asumen los datos mostrados en la siguiente tabla. Se debe determinar el espesor y coeficiente de rugosidad de la tubería, y calcular su diámetro interior.

Selección del diámetro lateral		
Datos asumidos de tubería		
Tipo	PVC	
Diámetro	63	mm
Espesor	1.8	mm
C	150	
Diam. Inter.	59.4	mm

Tabla 72. Datos asumidos y diámetro interior.

Se deberá conocer el caudal que la lateral tiene que transportar, para esto se multiplicara el caudal del aspersor por el número de aspersores laterales.

$$Q(lat) = Qasp * N^{\circ} Asp. Lat \quad (90)$$

Donde:

$Qasp$ = caudal del aspersor (mtrs³/hr)

La gradiente de pérdida de carga está dada por la ecuación de Hazen – Williams (61), este dato representa la pérdida de energía experimentada por unidad de longitud recorrida por el agua.

Caudal del lateral		
Q(l)	13.2	m3/hr
	3.67	ltr/hr
Gradiente de pérdida de carga		
J	2.89	%

Tabla 73. Caudal y pérdida de carga en laterales.

En el presente diseño existen 8 aspersores en cada lateral, por lo que se deberá encontrar la pérdida por fricción total en el lateral. En la hoja de cálculo se ha programada una tabla, que calcula la pérdida en cada posición de los aspersores a lo largo de la tubería; en el recuadro amarillo se ingresa el dato del caudal del aspersor.

Pérdida de carga total en el lateral				
i	Qasp, m3/hr	Long. Mtrs	j, %	hf, mtrs
1	1.65	6	0.06	0.004
2	3.3	12	0.22	0.027
3	4.95	12	0.47	0.056
4	6.6	12	0.80	0.096
5	8.25	12	1.21	0.145
6	9.9	12	1.69	0.203
7	11.55	12	2.25	0.270
8	13.2	12	2.89	0.346
			hfT	1.148

Tabla 74. Tabla de cálculo para la pérdida de carga total en laterales.

En el diseño se ha supuesto que las laterales están instaladas pendiente arriba, por lo que existen restricciones de diseño que deberán cumplirse según el punto 3.1.5.1 condición pendiente arriba.

En la hoja de cálculo, se tendrá que ingresar la diferencia de altura entre las entrada y salida del lateral; estos valores estarán dados en el plano topográfico del terreno. Para el diseño se ha supuesto los datos presentes en la tabla 75.

La presión media o Pm está situada al 40% de la longitud del lateral, medido desde su entrada.

La hoja de cálculo estará ya programada para calcular tanto condiciones pendientes arriba, como pendiente abajo. El diseñador deberá asumir la condición que se encuentre presente para su diseño, si esta condición cumple satisfactoriamente; el diámetro elegido para las laterales esta correcto y se trabajará con dicha tubería.

Restricciones de diseño en laterales				
Elevación en la entrada	87	mtrs	Según plano topográfico	
Elevación en la salida	90	mtrs		
hfmax	1.148	mtrs		
Pm	36	mtrs		
condición pendiente arriba	4.2	mtrs		CUMPLE
condición pendiente abajo	10.2	mtrs		CUMPLE

Tabla 75. Datos y condiciones de diseño.

Para el diseño de la tubería principal, se puede apreciar en el punto 3.1.6.2 dos condiciones para obtener el diámetro de dicha tubería. Para el presente trabajo se ha optado por diseñar en base a la velocidad máxima del flujo, se asumirá un valor que este dentro del rango especificado.

El diámetro será calculado por medio de la ecuación (71), se necesitará el caudal que pasa por la principal; este valor se lo puede obtener multiplicando el caudal en las laterales por el número de laterales.

$$Q(ppal) = Q(lat) * N^{\circ} Lat \quad (91)$$

Donde:

$Q(lat)$ = caudal del lateral (mtrs³/hr)

Luego de obtener el dato del diámetro, se utilizará la tabla 51 en donde se seleccionará el valor superior más cercano al del diámetro calculado.

Caudal de la principal			
Q(ppal)	26.4	m3/hr	
	7.333	ltrs/seg	
Vel. Max del flujo asumida	2	mtrs/seg	
Diámetro del principal			
D	0.068288267	mtrs	
	68.28826663	mm	
D(ppal)	75	mm	Tabla 51

Tabla 76. Diámetro de la principal.

Para el cálculo de la motobomba, es necesario conocer el caudal de descarga y la presión de bombeo o carga dinámica total; este dato se lo consigue por medio de la ecuación (72).

La carga dinámica total, se determina en base al cálculo de diferentes componentes dentro de la ecuación (72). La altura de succión h_s , es el desnivel que existe entre la superficie del agua en el canal y el eje de la bomba; en este caso esta altura será de 0.5mtrs.

Sera necesario calcular la gradiente de pérdida de carga que existe en la tubería principal, por medio de la ecuación (61); para ello son necesarios los datos mostrados en la tabla 77. Se deberán ingresar los datos tanto de espesor de la tubería y coeficiente de rugosidad de Manning (C) este se encuentra en la tabla 14.

Calculo de la carga dinámica total		
Altura de succión	0.5	mtrs
Datos de la tubería principal		
Caudal	26.4	m3/hr
Diámetro	75	mm
Diam. Inter.	71.4	mm
Espesor	1.8	mm
C	150	
Gradiente de pérdida de carga		
J	4.252	%

Tabla 77. Valor de la gradiente de pérdida de carga y altura de succión.

La pérdida por fricción en la succión es uno de los parámetros a calcular para la CDT, dicho dato necesita del porcentaje de pérdida en la longitud de succión, esta se obtiene dividiendo la longitud de succión para 100 este valor estará en porcentaje. La longitud de succión es la distancia total que el agua debe recorrer hasta llegar a la bomba.

Existe una pequeña pérdida debida a los accesorios esta tiene un valor recomendado de 0.13 mtrs, este valor será tomado en cuenta para obtener la pérdida por fricción en la succión por medio de la siguiente ecuación.

$$hfs = J(\text{princ.}) * js + hf(\text{accesorios}) \quad (92)$$

Donde:

Hfs = pérdida por fricción en la succión (mtrs)

J(princ.) = gradiente de pérdida de carga en la principal (porcentaje)

js = pérdida en la longitud de succión (porcentaje)

hf(accesorios) = pérdida en accesorios (mtrs)

Pérdida por fricción en la succión		
Long. Succión	4	mtrs
hf(accesorios)	0.13	mtrs
hfs	0.300	mtrs

Tabla 78. Pérdida por fricción en la succión.

Otro parámetro necesario para el CDT es la energía necesaria para operar el lateral (Hppal), este se obtiene por medio de la ecuación (65). Es necesario el valor de la altura del elevador, es decir la altura de la tubería que eleva al aspensor sobre la lateral.

El dato de Hppal está programado para las condiciones de pendiente del lateral, es decir pendiente arriba como pendiente abajo; se utilizará el valor que se adapte mejor al diseño del sistema de riego.

Energía en el principal para operar el lateral			
	Altura del elevador	0.61	mtrs
Pendiente arriba	Hppal	38.971	mtrs
Pendiente abajo	Hppal	35.971	mtrs

Tabla 79. Energía en el principal según condiciones de pendiente.

Ahora se analizará las pérdidas por fricción en la tubería principal, será necesario la distancia de la tubería, esta debe ser medida desde el primer aspersor; para el cálculo de este parámetro se utilizará la ecuación (62), el valor de “n” será el número de laterales que tendrá el sistema de riego.

Para el valor del coeficiente de reducción de pérdidas de carga F, se ha diseñado una tabla en la que consta los valores de F según los números de salidas existentes.

Se tomará el dato F de la tabla ya programada y se lo ingresará en el recuadro amarillo de la hoja de cálculo, como lo muestra la tabla 81.

Entradas	F	Entradas	F
1	1.000	11	0.397
2	0.639	12	0.353
3	0.534	13	0.319
4	0.485	14	0.293
5	0.457	15	0.273
6	0.438	16	0.257
7	0.425	17	0.243
8	0.416	18	0.232
9	0.408	19	0.223
10	0.402	20	0.215

Tabla 80. Tabla para el coeficiente F según el número de entradas.

Pérdida por fricción en la tubería principal		
long. Desde el 1er asp.	174	mtrs
n	2	Laterales
F	0.639	
hfppal	5.36	mtrs

Tabla 81. Pérdida por fricción en la principal.

El ultimo parámetro necesario para calcular la carga dinámica total, es la carga por diferencia de elevación en la tubería principal, este valor se lo obtiene por medio del plano topográfico. Luego se calculará la CDT por medio de la ecuación (72).

Según plano topográfico			
Elevación entrada princ.	84.5		
Elevación salida princ.	87		
Pendiente arriba	CDT	52.398	mtrs
Pendiente abajo	CDT	43.598	mtrs

Tabla 82. Datos topográficos y valor de la carga dinámica total.

3.1.8.5 Calculo de la motobomba

Luego de calcular el valor de la carga dinámica total, se deberá definir el tipo de bomba a usar; generalmente para riego se utilizan las bombas centrifugas cuya eficiencia esta del 70 a 80% se tomará el intermedio, es decir 75%. También será necesario definir la eficiencia del motor, según el punto 3.1.6.2 la eficiencia de motores eléctricos esta alrededor del 84%; por lo que se tomará un 85% para el diseño.

Se calcula la potencia de la bomba, por medio de la ecuación (73). El caudal será tomado según el número de laterales a los que tendrá que entregar el fluido, es decir se multiplicará el caudal del lateral por el número de estos.

Para definir la bomba a usar será necesario calcular también la potencia del motor, por medio de la ecuación (75).

Eficiencia de la bomba	75	%	0.75
Eficiencia del motor	85	%	0.85
Potencia de la bomba			
Pb	10.04574418	Kw	13.4713429 HP
Potencia del motor			
Pm	15.84863876	HP	

Tabla 83. Eficiencias y potencias de bomba y motor.

Con estos datos calculados, se deberá consultar el catálogo del fabricante para elegir el tipo de bomba a usar; generalmente estos catálogos presentan las características de sus bombas en forma de curvas.

Para el uso de estas curvas será necesario conocer la carga dinámica total y el caudal a bombear. A continuación, se presenta un ejemplo sobre el uso de estas curvas utilizando el catálogo de bombas del distribuidor PEDROLLO.

El catalogo presenta una primera grafica general en la que se seleccionará el modelo de la bomba; y por medio de esta se obtendrá los datos del equipo a usar para el sistema.

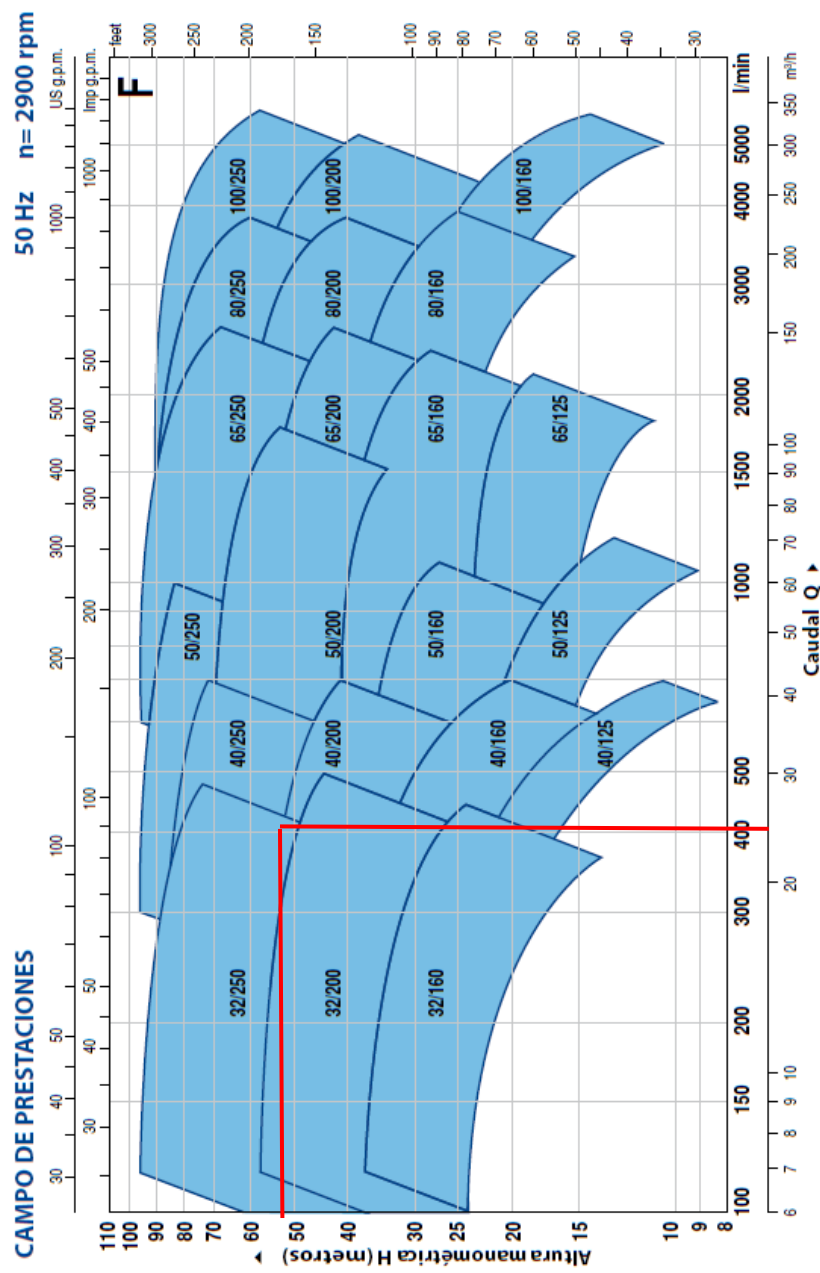


Imagen 17. Curvas de modelo para bombas.

Como se puede observar en la imagen 17, para un caudal de 26.4m³/hr y una carga dinámica total de 52.4; se buscará la clase de bomba 32/250.

Luego nos dirigimos a las curvas del modelo seleccionado presentes en la siguiente imagen, y con los mismos valores de caudal y carga dinámica total; se observa que la intersección de estas líneas corta por debajo de la curva del modelo F32/250C, esto quiere decir que dicho modelo de bomba es con el que se va a trabajar

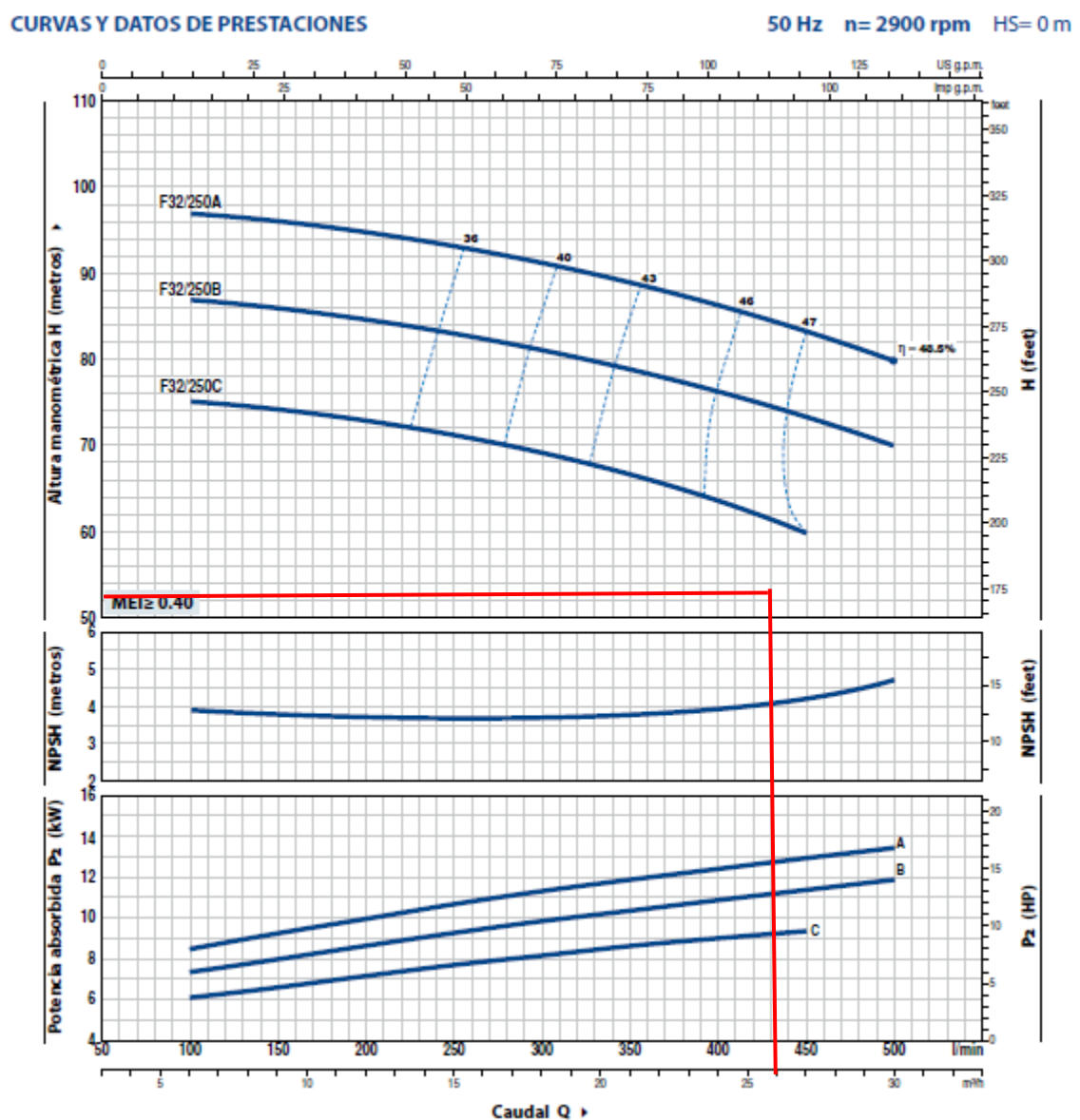


Imagen 18. Curvas para el modelo de bomba.

Ya elegida la clase de bomba, nos dirigimos a la tabla de datos presentes en la siguiente imagen, donde se podrá corroborar que la bomba elegida sea la correcta por medio de la potencia calculada, este valor deberá ser inferior a la potencia mostrada en el catálogo.

MODELO	POTENCIA (P ₂)		Q	0	6	9	12	15	18	21	24	27	30
	kW	HP		0	100	150	200	250	300	350	400	450	500
F 32/250C	9.2	12.5		76	75	74.5	73	71.5	69.5	67	64	60	
F 32/250B	11	15	H metros	88	87	86	85	83	81	79	76.5	73.5	70
F 32/250A	15	20		98	97	96	95	93	91	89	86.5	83.5	80

Q = Caudal H = Altura manométrica total HS = Altura de aspiración

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO9906 Grado 3B.

Imagen 19. Características de la bomba.

En la hoja de cálculo se usará e ingresará el dato de altura de succión de la bomba, para conocer la elevación máxima a la que esta puede estar instalada, en este caso la altura máxima a la que se puede instalar la bomba es de 5.060 mtrs.

La altura de succión se la encuentra dentro de las mismas curvas de la bomba (imagen 20), según el caudal corta a la curva de succión en 4mtrs.

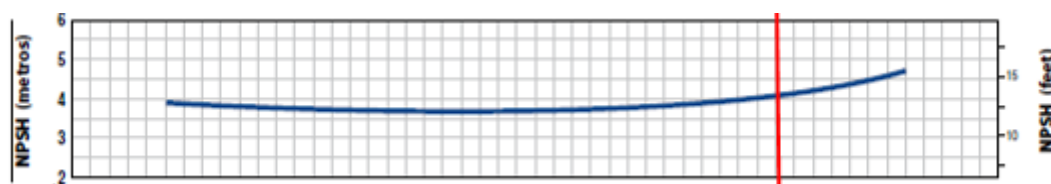


Imagen 20. Altura de sección en catálogo.

Selección del tipo de bomba		
Datos según catalogo		
Altura de succión Bomba	4	mtrs
Altura máxima de instalación de la bomba		
Hmax. Succ	5.060	mtr

Tabla 84. Altura máxima de instalación de la bomba.

Por último, se deberá calcular la carga de succión neta positiva disponible; para esto se usará el dato de la altitud a la que se encuentra la parcela, y por medio de la tabla 52 encontraremos la presión atmosférica.

Por medio de la tabla 53 y con la temperatura del agua a usar en el riego, se determinará la presión del vapor de agua.

Estos dos últimos datos conseguidos por medio de tablas deberán ser ingresados en la hoja de cálculo; para así obtener el valor de la carga de succión neta positiva disponible ecuación (76). Esta deberá ser mayor a la altura de succión de la bomba para que funcione de manera correcta, en el caso en que la condición no se cumpla, se deberá cambiar el tipo de bomba a usar

Calculo de la carga de succión neta positiva disponible			
Patm	9.6	mtrs	Tabla 17
Pva	0.24	mtrs	Tabla 18
NPSHd	8.560	mtrs	CORRECTA

Tabla 85. Carga de succión neta positiva y condición de diseño.

Según los datos mostrados, se puede observar que existe un margen de seguridad de 4.56 mtrs; para el supuesto caso de que el nivel de agua baje en el canal de riego y el equipo se quede bloqueado.

3.2 DISEÑO DE RIEGO POR GOTEO

Para este método de riego, el agua será aplicada directamente al suelo, gota a gota, por medio de unos aparatos llamados goteros; para que estos funcionen necesitan presión, pero en una cantidad mucho menos a la del riego por aspersion.

Según Mendoza (2013) la presión se puede obtener mediante un equipo de bombeo o simplemente por la diferencia de nivel existente entre la fuente de agua y los emisores, esta diferencia puede ser entre 3 a 10 mtrs.

3.2.1 Componentes de un sistema de riego por goteo

Los sistemas de riego por goteo están conformados por los siguientes componentes:

- Fuente de energía
- Cabezal de control

- Red de tuberías
- Goteros o emisores
- Dispositivos de control

3.2.1.1 Fuente de energía

La fuente de energía según Mendoza (2013) es necesaria para provocar la circulación del agua, superar las pérdidas de energía y ofrecer a los emisores o goteros la presión que necesitan para su funcionamiento. La energía también se puede obtener mediante la energía potencial generada por la diferencia de nivel entre la fuente de agua y la parcela de riego.

En el caso de ser necesario una bomba para el sistema, esta se diseñará como en el riego por aspersión.

3.2.1.2 Cabezal de control

Según Mendoza (2013), se trata de una cabina de maquinaria destinada a filtrar, tratar, medir, en general a suministrar el agua a la red de riego.

3.2.1.3 Red de tuberías

La red de tuberías es la encargada de llevar el agua tratada a la parcela a regar; esta depende del tamaño de la superficie de riego Maldonado (2012) menciona tres tipos de tuberías: principal, múltiple y laterales o porta goteros, generalmente se utilizan tuberías de PVC para sus 3 tipos.

3.2.1.4 Goteros o emisores

Estos son los dispositivos por el cual se aplica el agua al suelo. Según Mendoza (2013). Dado que el agua que circula en los laterales de riego posee presión, los goteros pueden disipar la presión del agua de tal forma que sale a la atmosfera sin presión, en forma de gota. También se puede utilizar las cintas de riego, según Cadena (2012) son tuberías que

conducen y a la vez entregan agua, ya sea por medio de orificios pequeños o una pared porosa.

3.2.1.5 Dispositivos de control

Son los dispositivos usados para medir caudal o volumen de agua, también se usan para medir la presión en cualquier punto del sistema.

3.2.2 Criterios de selección de los goteros

Según Maldonado (2001) existe una amplia gama de caudales de goteros facilitados por los fabricantes, estos están entre 2, 4, 6, 8 y 12 ltrs/hr; pero los más utilizados y con mayor facilidad de obtención en nuestro medio son los de 2, 4 y 8 ltrs/hr; el de 2 y 4 ltrs/hr es ocupado en horticultura mientras que los de 8 ltrs/hr se utilizan en frutales.

3.2.2.1 Ecuación del gotero

Mendoza (2013) indica que, en el rango de descargas deseado, las características del flujo de la mayoría de los goteros se expresan mediante la siguiente ecuación.

$$q = Kd * h^x \quad (93)$$

Donde:

q = caudal del gotero. (ltr/hr)

Kd = coeficiente de descarga que caracteriza a cada gotero.

h = carga de operación del gotero. (mtrs)

x = exponente de descarga del gotero.

Kd y x son factores facilitados en los catálogos del fabricante, en el caso de que estos factores no estén mencionados en el catálogo; se usara la siguiente ecuación.

$$x = \frac{\ln(q^1/q^2)}{\ln(h^1/h^2)} \quad (94)$$

Donde:

q_1 = caudal mayor del emisor (ltr/hr)

q_2 = caudal menor del emisor (ltr/hr)

h_1 = presión de trabajo mayor del emisor (m.c.a)

h_2 = presión de trabajo menor del emisor (m.c.a)

Una vez obtenido el valor de x se podrá determinar el valor de k , por medio de la siguiente ecuación:

$$k = \frac{q_1}{h_1^x} \quad (95)$$

Donde:

q_1 = caudal mayor del emisor (ltr/hr)

3.2.3 Generalidades en el diseño de riego por goteo

La clave para un buen diseño según Mendoza (2013) consiste en fijar el caudal, presión y uniformidad desde el principio e ir diseñando el sistema en consecuencia.

El proceso de diseño se divide en 3 partes:

Diseño agronómico del riego. –En este punto se determina la cantidad de agua que la instalación debe conducir, con la capacidad de satisfacer las necesidades o demandas del cultivo.

Diseño geométrico. –En este punto se definirá la disposición más adecuada de las tuberías y componentes del sistema.

Diseño hidráulico. – En este punto se calculan las dimensiones de las tuberías y sus componentes para satisfacer las necesidades agronómicas.

3.2.3.1 Diseño agronómico

De este punto depende la eficiencia del diseño, por lo que lo convierte en el más importante; un error aquí generara un sistema de riego defectuoso. En el riego por goteo, por tener un carácter de riego localizado no es necesario humedecer el 100% del área

ocupada por las plantas, se debe establecer un mínimo de volumen de riego. Maldonado (2001) indica que el volumen de suelo humedecido se sustituye por el porcentaje de suelo mojado, este depende del tipo de cultivo y el suelo.

- Cultivos frutales. – 25% - 35% al aumentar la aridez del clima este valor será mayor.
- Cultivos de plantación de marco medio. – 40% - 60% variando según la aridez del suelo.
- Cultivos de marco reducido (hortícolas, florales, herbáceos en general). – 70% - 90%

Los valores altos de porcentaje de suelo mojado (P) incrementa la seguridad del sistema.

3.2.3.2 Diseño geométrico

En los sistemas de riego por goteo, es necesario mantener la uniformidad de aplicación del agua; para esto es necesario una adecuada disposición de las tuberías en relación con la pendiente del terreno. Para reducir los efectos de la diferencia de presión a lo largo del lateral, se recomienda que estos se dispongan siguiendo las curvas de nivel, y las tuberías múltiples en el sentido de la pendiente del terreno. (Mendoza, 2013, p.58)

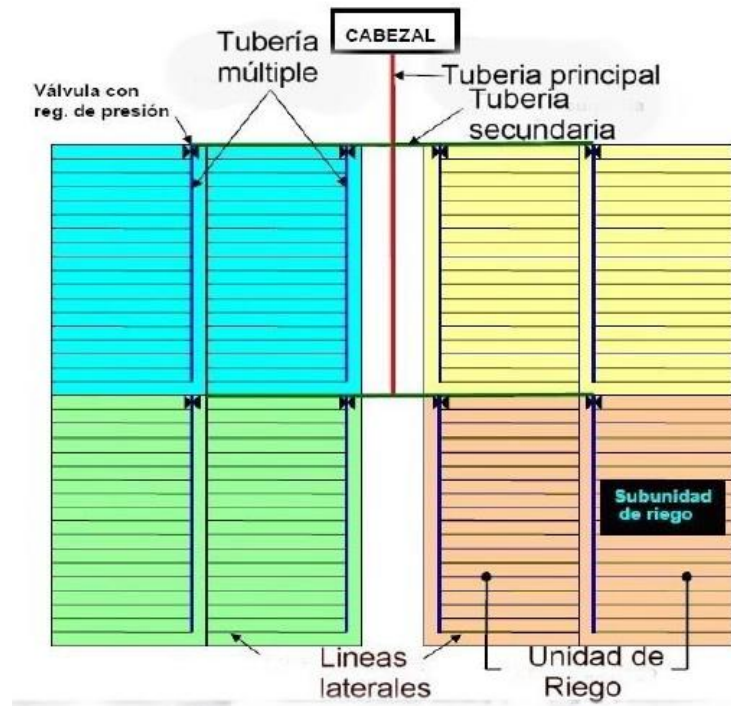


Imagen 21. Disposición típica de las tuberías en riego por goteo. Copyright 2013 por Mendoza A. Riego por goteo (2013).

3.2.3.3 Diseño hidráulico

Determina las dimensiones de los diferentes componentes del sistema para que este funcione adecuadamente y con altos niveles de uniformidad. Mendoza (2013) indica que el dimensionamiento del sistema está determinado por las condiciones de operación previstas, en función de las características de la topografía, el suelo y el cultivo.

La pérdida por fricción en tuberías se define como la pérdida de energía producto de la resistencia que la tubería opone al paso del agua. Se calculará por medio de la ecuación de Hazen – William, la misma que ya está descrita en el sistema de riego por aspersión en el punto 3.1.4.

3.2.3.3.1 Uniformidad de emisión en el diseño

Este es uno de los componentes de la eficiencia de riego, Mendoza (2013) indica, que este depende de la variación de caudales que se presenta en la subunidad como consecuencia de la variación de las presiones debido a variaciones topográficas y pérdidas

de carga en la red de riego. La uniformidad de emisión se mide con el coeficiente de uniformidad, mismo que esta descrito en la siguiente ecuación.

$$CU = 100 * \left(1 - 1.27 * \frac{v}{\sqrt{Np}} \right) * \frac{qn}{qa} \quad (96)$$

Donde:

v = coeficiente de variación de fabricación del gotero.

Np = número de goteros por planta

qn = caudal de emisión calculado a partir de la presión mínima

qa = caudal de diseño promedio

Para un propósito de diseño, existen rangos recomendados del CU estos son:

- Para goteros con cultivos permanentes en espaciamientos amplios
 - Topografía uniforme: $90 < CU < 94$
 - Topografía irregular: $88 < CU < 92$
- Para goteros en cultivos permanentes
 - Topografía uniforme: $86 < CU < 90$
 - Topografía irregular: $84 < CU < 90$

3.2.3.3.2 Variación de carga permisible (ΔH_s)

Es la máxima variación de presiones permisibles dentro de una subunidad de riego, está definida por la siguiente ecuación:

$$\Delta h_s = 2.5 * (h_a - h_n) \quad (97)$$

Donde:

h_a = carga promedio en la subunidad (m.c.a)

h_n = carga mínima en la subunidad (m.c.a)

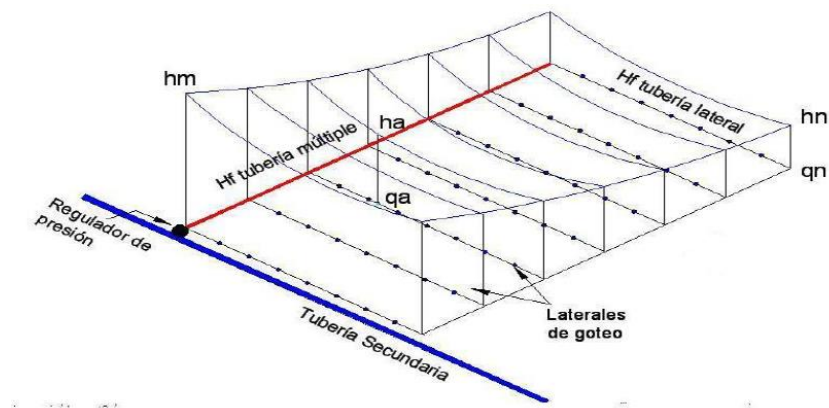


Imagen 22. Distribución de la carga de presión en una subunidad. Copyright 2013 por Mendoza A. Riego por goteo (2013).

3.2.4 Ejercicio de diseño por goteo.

Para el siguiente ejemplo de diseño se va a sembrar patata, este cultivo tiene un alto requerimiento hídrico, los datos necesarios serán: datos de la parcela, datos del cultivo, datos del suelo y criterios para el gotero.

Como se mencionó con anterioridad, los recuadros resaltados en amarillo serán llenados por criterio del diseñador o catálogos de fabricantes, y los recuadros color café serán los datos necesarios para iniciar el diseño.

Datos de la parcela			Largo	Ancho	
At	3.6	ha	160	100	mtrs
Pendiente	N-S	Según plano topográfico			
	E-O				
Altitud	80	msnm			

Tabla 86. Datos de la parcela.

Los datos de cultivo son los requerimientos de la planta necesarios para el diseño, estos se pueden encontrar en tablas o bien serán facilitados por un ingeniero agrónomo.

Datos del cultivo				
Tipo	Patata			
Etmax	6	mm/día		
Profundidad de raíces		0.8	mtrs	
Agotamiento permisible		12	%	0.12

Tabla 87. Datos del cultivo.

Los datos del suelo son facilitados por medio de pruebas de laboratorio, en la siguiente grafica se muestran los datos necesarios para diseñar el sistema.

Datos del suelo			
Textura	Franco arenosa		
Capacidad de retención	12	cm/mtr	
Profundidad	1.5	mtrs	
Agotamiento permisible	12	%	0.12

Tabla 88. Datos del suelo.

Para los criterios del gotero, ya se mencionó en el punto 3.2.3 que es recomendable fijar el caudal, presión y uniformidad desde el principio e ir diseñando el sistema en consecuencia. Para determinar el gotero o línea de riego a usar se debe seguir las recomendaciones del punto 3.2.2, ahí indica que para cultivos hortícolas se usara un caudal del emisor entre 2 – 4 ltrs/hr.

En base a este criterio se seleccionará el emisor por medio de catálogos, en estos se podrá encontrar todas las características del aparato; así como recomendaciones de uso en cultivos, que facilitará la elección al diseñador.

Para el presente diseño, se ha usado el catálogo de productos REGABER; en este se ha encontrado el emisor a usar por medio del caudal antes mencionado y con las recomendaciones para un cultivo de patata.

Se ha optado por seleccionar la línea de riego TIRAN, sus características se muestran en la siguiente imagen.

» Datos técnicos del gotero

Caudal nominal (l/h)	Dimensiones del paso del laberinto Ancho-Profundidad-Largo (mm)	Área filtración (mm ²)	Constante k	Exponente x
1.0	0.60 x 0.80 x 75.0	70.0	0.348	0.46
1.5	0.73 x 0.85 x 75.0	70.0	0.520	0.46
2.0	0.76 x 1.08 x 75.0	70.0	0.693	0.46
4.0	1.06 x 1.40 x 75.0	76.0	1.387	0.46
8.0	1.68 x 1.40 x 37.0	76.0	2.774	0.46

Imagen 23. Datos técnicos del gotero.

Los datos necesarios para el diseño se introducirán a la hoja de cálculo como se muestra a continuación. El espaciamiento entre plantas y laterales será determinado según como se va a sembrar el cultivo.

Criterio del emisor			
Caudal nominal	2	ltrs/hr	CATALOGO
Esp. De goteros sobre lat.	0.4	mtrs	
Esp. Entre lat.	1.3	mtrs	
Esp. Entre planta	0.5	mtrs	

Tabla 89. Criterios del emisor.

3.2.4.1 Desarrollo

El diseño iniciará con el cálculo agronómico, para conocer las necesidades del cultivo, se calcula los puntos de emisión que tendrá cada planta; mediante la siguiente expresión.

$$Np = Sp/Se \quad (98)$$

Donde:

Sp = espaciamiento entre plantas (mtrs)

Se = espaciamiento de goteros sobre el lateral (mtrs)

Para el porcentaje de área mojada, se usarán las recomendaciones descritas en el punto 3.2.3.1 para cultivos hortícolas.

Puntos de emisión por planta				
Np	1.25	goteros por planta		
Porcentaje de área mojada				
Pw	90	%	0.9	Criterio

Tabla 90. Puntos de emisión y porcentaje de área mojada.

Se calcula la lámina de reposición, esta es la cantidad de agua que debe reponerse al suelo luego de un riego:

$$Lr = P * Pw * Cr * Pr \quad (99)$$

Donde:

P = agotamiento permisible

Pw = porcentaje de área mojada (decimal)

Cr = Capacidad de retención del suelo (cm/mtr)

Pr = profundidad de las raíces (mtrs)

La transpiración máxima promedio que tiene el cultivo se expresa de la siguiente manera:

$$Td = Etc * (Pw + 0.15 * (1.0 - Pw)) \quad (100)$$

Donde:

Etc = evapotranspiración del cultivo (mm/día)

Pw = porcentaje de área mojada (decimal)

Lamina de reposición		
Lr	1.0368	cm
	10.368	mm
Transpiración máxima promedio		
Td	5.49	mm/día

Tabla 91. Lamina de reposición y transpiración del cultivo.

El intervalo de riego nos indica cada cuanto debemos regar, la frecuencia de riego para sistemas por goteo es sumamente baja oscila entre 1 a 5 días, por lo que este será un criterio de diseñador.

$$Ir = \frac{Lr}{Td} \quad (101)$$

Donde:

Ir = intervalo de riego (días)

Lr = lamina de reposición (mm)

Td = Transpiración máxima promedio (mm/día)

Intervalo de riego		
IR	1.88852459	días
	2	días
Frecuencia de riego		
Fr	2	días

Tabla 92. Intervalo y frecuencia de riego.

Lamina neta para sistemas de riego por goteo:

$$Ln = Td * Fr \quad (102)$$

Td = Transpiración máxima promedio (mm/día)

Fr = frecuencia de riego (días)

Es necesario saber la eficiencia esperada del sistema para ello se usará la tabla 5.

Lamina neta por riego			
Ln	10.98	mm	
Eficiencia de riego			
Efa	95	%	Tabla 5
	0.95		

Tabla 93. Lamina neta y eficiencia de riego.

Las 3 últimas necesidades agronómicas se calcularán por medio de las siguientes expresiones:

Lamina bruta.

$$Lb = Ln/Efa \quad (103)$$

Volumen de agua por planta. – Es la cantidad de agua que va a necesitar cada planta.

$$G = \left(\frac{Lb}{Fr} \right) * Sp * Sl \quad (104)$$

Donde:

Sp = separación entre plantas (mtrs)

Sl = separación entre laterales (mtrs)

Lb = lamina bruta (mm)

Fr = frecuencia de riego (mtrs)

Tiempo de aplicación. – Es el tiempo durante el cual los emisores estarán en funcionamiento.

$$Ta = \frac{G}{Np} * qa \quad (105)$$

Donde:

G = volumen de agua por planta (ltrs/planta/día)

Np = puntos de emisión por planta

qa = caudal nominal del emisor (ltrs/hr)

Lamina bruta de riego		
Lb	11.5578947	mm
Volumen de agua por planta		
G	3.75631579	ltr/planta/día
Tiempo de aplicación		
Ta	6.01010526	hrs

Tabla 94. Resultados de necesidades agronómicas.

3.2.4.2 Diseño hidráulico

El diseño parte de las características del emisor elegido, las que están dadas por el fabricante son las siguientes:

- v = coeficiente de variación del fabricante.
- Caudal medio del emisor.
- Coeficientes K y x para la ecuación del gotero.

El coeficiente de uniformidad CU será un dato a criterio del diseñador, este se encuentra recomendado en el punto 3.2.3.3.1. El coeficiente de rugosidad C para tubería pvc es de 150.

Np	1.25	goteros	
CU	90	%	0.9
v	0.05	Catalogo	
Caudal medio del emisor		2	ltrs/hr
x	0.46	CATALOGO	
K	0.69		
C	150		

Tabla 95. Datos para el diseño hidráulico.

El caudal del emisor a partir de la presión mínima se calculará despejándolo de la ecuación (96). La carga mínima en la subunidad de igual forma se consigue despejándola de la ecuación (93).

Caudal del emisor a presión mínima		
qn	1.697766972	ltr/hr
Carga mínima en la subunidad		
hn	7.080485237	mtrs

Tabla 96. Caudal y carga mínima en la subunidad.

La presión media en el módulo se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$ha = \left(\frac{qa}{K}\right)^{1/x} \quad (106)$$

Donde:

qa = caudal medio del emisor (ltrs/hr)

La variación de carga permisible se calcula por medio de la ecuación (97).

Presión media del modulo		
ha	10.1097659	m.c.a
Variación de carga permisible		
Δhs	7.57320157	mtrs

Tabla 97. Variación de carga y presión del módulo.

3.2.4.3 Tuberías laterales

En primer lugar, se deberá definir la longitud que va a tener la latera para así calcular el número de goteros que estas tuberías tendrán:

$$ne = Ll/Se \quad (107)$$

Donde:

ne = número de goteros a lo largo del lateral

Ll = longitud del lateral (mtrs)

Se = separación entre emisores (mtrs)

Con estos datos se obtendrá el caudal del lateral, por medio de:

$$ql = ne * qa \quad (108)$$

Donde:

ne = número de goteros a lo largo del lateral

qa = caudal medio del emisor (ltrs/hr)

Long. Lat.	70	mtrs
Numero de goteros a lo largo del lateral		
ne	175	goteros
Caudal del lateral		
ql	350	ltrs/hr
	0.35	m3/hr

Tabla 98. Caudal y numero de goteros en el lateral.

Ahora se calcula las pérdidas de carga admisibles en el lateral, su criterio de diseño dice que las pérdidas totales admisibles en el lateral deben ser menores o iguales al 50% de la variación de carga permisible ($H_{Tal} \leq 50\% \Delta h_s$).

Por medio de la condición de diseño, se determina una pérdida total admisible en el lateral para referencia de cálculo; que es igual al 50% de variación de carga permisible (Δh_s).

Existe una pérdida en el lateral que es por diferencia de elevación, cuando la tubería esta inclinada; esta se determina simplemente restando la elevación de la entrada menos la elevación de la salida.

Pérdida de carga admisible en el lateral			
Elevación en la entrada	83	mtrs	
Elevación en la salida	85	mtrs	
Presión por diferencia de elevación			
Hel	2	mtrs	
Pérdidas totales admisibles en el lat.			
Htal	3.78660078	mtrs	V. referenc.

Tabla 99. Presión por diferencia de elevación y dato referencial

Pérdidas por fricción admisibles en varias salidas:

$$H_{fal} = HTal - Hel \quad (109)$$

Donde:

HTal = Pérdidas totales admisibles en el lateral (referencial) (mtrs)

Hel = presión por diferencia de elevación (mtrs)

Con el valor de Hfal, se calculará la gradiente de pérdida de carga por fricción admisible en el lateral:

$$Jal = \frac{H_{fal}}{Ll} \quad (110)$$

Pérdidas por fricción admisibles en varias salidas		
Hfal	1.78660078	mtrs
Gradiente de pérdida de carga por fricción admisible en el lat.		
Jal	0.02552287	mtrs/mtrs

Tabla 100. Pérdidas y gradiente de fricción.

Ahora se llevará las pérdidas por fricción admisibles, a criterio de una sola salida por medio de la ecuación (62), el valor del coeficiente f estará dado por la siguiente tabla:

Tabla 101

Coeficiente f

No de salidas	f	No de salidas	f
1	1.000	18	0.379
2	0.639	19	0.377
3	0.535	20	0.376
4	0.486	22	0.374
5	0.457	24	0.372
6	0.435	26	0.370
7	0.425	28	0.369
8	0.415	30	0.368
9	0.409	35	0.365
10	0.402	40	0.364
11	0.397	50	0.361
12	0.394	60	0.359
13	0.391	80	0.357
14	0.387	100	0.356
15	0.384	150	0.354
16	0.382	300	0.353
17	0.380	>300	0.351

Riego por goteo. (2001). Coeficiente de Christiasen, marzo 2013 [Tabla].

Por lo que el valor de H_{fal} obtenido anteriormente se divide para el valor de la tabla según el número de salidas que tenga el lateral, como se muestra en la siguiente ecuación.

$$H_{fal(1s)} = \frac{H_{fal}}{f} \quad (111)$$

Pérdidas por fricción admisibles en una salida			
f	0.354		
	$H_{fal(1s)}$	5.04689487	mtrs

Tabla 102. Pérdida por fricción admisible en una salida.

Para la selección del diámetro lateral, se despejará D de la ecuación (62), sabiendo que el valor de J es el de la ecuación (61), la constante K para dicha ecuación tendrá el siguiente valor:

$$K = 1.131 \times 10^9$$

Luego nos dará un valor que por medio de la tabla 51, encontraremos el diámetro más próximo al ya calculado.

Selección del diámetro lateral		
DI	12.37695576	
DI	16	Tabla 51

Tabla 103. Diámetro del lateral.

Ahora con el dato del diámetro se calcularán las pérdidas reales en el lateral, por medio de la ecuación (61) y la ecuación (62).

Pérdidas con el nuevo diámetro			
Según H-W			
	Hf	1.44540428	mtrs
Con factor f			
	Hf	0.51167311	mtrs

Tabla 104. Pérdidas reales en el lateral.

Pérdidas totales en el lateral:

$$HTL = H_f + H_{el} \quad (112)$$

Donde:

Hf = pérdidas reales en el lateral por medio del factor f (mtrs)

Hel = pérdidas por diferencia de elevación (mtrs)

Las pérdidas totales en el lateral deben cumplir el criterio de diseño, es decir estas deben ser menores o iguales al 50% de la variación de carga permisible. En el caso de que esto no se cumpla se tendrá que cambiar el diámetro de la tubería.

Pérdida total en el lateral		
HTL	2.51167311	mtrs
% de HTI para Δh_s		
33.16527485	%	CUMPLE

Tabla 105. Pérdidas totales en el lateral y criterio de diseño.

3.2.4.4 Tuberías múltiples

De igual forma el diseño de estas tuberías parte de seleccionar su longitud, para luego encontrar su número necesario para el sistema. La cantidad de múltiples se calcula por medio de la siguiente ecuación.

$$\#m = Lm/SI \quad (113)$$

Donde:

Lm = longitud del múltiple (mtrs)

SI = espaciamiento entre laterales (mtrs)

Caudal del múltiple

$$qm = \#m * ql \quad (114)$$

Donde:

#m = cantidad de múltiples

ql = caudal del lateral (ltrs/hr)

Long. Mult.	40	mtrs
Num. Mult.	30.76923077	
	31	múltiples
Caudal del múltiple		
qm	10769.23077	ltrs/hr
	10.76923077	m3/hr

Tabla 106. Numero de múltiples y su caudal.

Pérdidas admisibles en el múltiple:

$$H_{tam} = \Delta h_s - HTL \quad (115)$$

Donde:

Δh_s = variación de carga permisible (mtrs)

HTL = pérdida total en el lateral (mtrs)

Como se lo realizo para las tuberías laterales, se deberá calcular tanto Gradiente hidráulico ecuación (110), pérdidas por fricción admisible en varias salidas ecuación (109) y pérdidas por fricción en condición de una salida ecuación (111); con el coeficiente f de la tabla 101.

Pérdidas por fricción admisibles en varias salidas		
Hfam	3.06152845	mtrs
Gradiente de pérdida de carga por fricción admisible en el mult.		
Jal	0.07653821	mtrs/mtrs
Pérdidas por fricción admisibles en una salida		
f	0.365	
	Hfam(1s)	8.38774918 mtrs

Tabla 107. Gradiente y pérdidas en sus dos condiciones.

Para seleccionar el diámetro a usar en el múltiple, se usará el mismo procedimiento indicado para las tuberías laterales. Se despeja D de la ecuación (61), y por medio de la tabla 51 se definirá el diámetro del múltiple.

Pérdidas Tot. Adm. Mult			
Htam	5.061528451	mtrs	
Selección del diámetro del múltiple			
Dm	36.58631956	mm	
Dm	40	mm	Tabla 51

Tabla 108. Diámetro y pérdidas admisibles en el múltiple.

Se calculará las pérdidas reales por medio de las ecuaciones (61) y (62)

Pérdidas con el nuevo diámetro			
Según H-W			
	Hf	5.432196362	mtrs
Con factor f			
	Hf	1.982751672	mtrs

Tabla 109. Pérdidas reales.

Se calcula las pérdidas totales en el múltiple por medio de la ecuación (112), y las pérdidas totales en la subunidad se obtiene mediante:

$$HT(sub) = HTl + HTm \quad (116)$$

Donde:

HT(sub) = pérdidas totales en la subunidad (mtrs)

HTl = pérdidas totales en el lateral (mtrs)

HTm = pérdidas totales en el múltiple según factor f (mtrs)

La condición de diseño para el diámetro del múltiple es que las pérdidas totales en la subunidad no sean superiores a su variación de carga permisible ($HT(sub) < \Delta hs$).

Pérdida total en el múltiple			
HTm	3.98275167	mtrs	
Pérdidas totales en la subunidad			
HT	6.49442479	mtrs	CUMPLE

Tabla 110. Pérdidas en el múltiple y subunidad con criterio de diseño.

3.2.4.5 Tubería principal

Según Mendoza (2013) el diseño de estas tuberías, parte del criterio en el que su velocidad no puede ser superior a los 2mtr/seg.

Para determinar el caudal de la tubería principal, es necesario conocer cuántos múltiples operan simultáneamente para el riego; este es un criterio del diseñador.

$$qp = qm * \#mul. oper. simult \quad (117)$$

Donde:

qp = caudal de la tubería principal (mtrs³/seg)

qm = caudal del múltiple (mtrs³/seg)

Para determinar el diámetro se parte de la ecuación general del caudal:

$$Q = A * V \quad (118)$$

Donde:

A = área de la tubería

V = velocidad en la principal

De esta ecuación, se despeja el diámetro D sabiendo que la fórmula de A es el área de un círculo; quedando la siguiente expresión:

$$Dp = \sqrt{\frac{qp}{V * 0.785}} \quad (119)$$

Donde:

qp = caudal de la tubería principal (mtrs³/seg)

V = velocidad máxima en la tubería principal (mtrs/seg) (criterio)

El Diámetro de la principal se determinará en base al calculado y con la ayuda de la tabla 51, por medio de la ecuación (117) y (119) se obtiene los resultados mostrados en la siguiente tabla.

# Mult. Ope. Simultan.	2		
qp	0.005982906	m3/seg	
	21.53846154	m3/hr	
Diámetro en el principal			
Dp	0.061731419	mtrs	
	61.73141941	mm	
Dp	63	mm	Tabla 51

Tabla 111. Caudal y diámetro en el principal.

De la ecuación (118), se calcula la velocidad real en la tubería principal, este debe cumplir con la condición de diseño mencionada anteriormente.

Velocidad en el principal		
Vp	1.919288152	mtrs/seg
Condición	Vp < 2mtrs/seg	CUMPLE

Tabla 112. Velocidad den la principal y condición de diseño.

Se calcularán las pérdidas en la principal por medio de las ecuaciones (61) y (62).

Pérdida total en el sistema:

$$HFT = HT + Hf \quad (120)$$

Donde:

HT = pérdidas totales en la subunidad (mtrs)

Hf son las pérdidas en la tubería principal con el factor f (mtrs)

La gradiente de pérdida de carga se calculó por medio de la ecuación (61).

Pérdidas con el nuevo diámetro			
Segun H-W			
	Hf	2.951408967	mtrs
f	0.639		
Con factor f			
	Hf	1.88595033	mtrs
Pérdida total en el sistema			
HFT	8.38037512		mtrs
Gradiente de pérdida de carga			
J	5.36619812		%

Tabla 113. Pérdidas y gradiente hidráulico.

En el caso de que el sistema necesite una bomba, se deberá calcular la pérdida por fricción en la succión por medio de la ecuación (92).

Pérdida por fricción en la succión		
Long. Succión	2.5	mtrs
hf(accesorios)	0.13	mtrs
hfs	0.264	mtrs

Tabla 114. Pérdida por fricción en la succión.

3.2.4.6 Calculo de la motobomba

Como se mencionó anteriormente, en los sistemas de riego por goteo no siempre es necesario un equipo de bombeo, pero en el caso de que este se necesite; se calculara de igual forma como si fuera para aspersión. Las alturas de succión y del canal serán datos de parcela dependiendo de donde se quiera colocar el equipo.

El criterio de diseño es que la carga de succión neta positiva disponible debe ser mayor a la altura de succión de la bomba. La carga de succión neta positiva disponible se encuentra por medio de la ecuación (76).

PÉRDIDA TOTAL EN EL SISTEMA	8.38037512	mtrs	
CAUDAL A BOMBLEAR	21.5384615	m3/hr	
Altura de succión Bomba	2.5	mtrs	Catalogo
Altura de succión Canal	0.6	mtrs	Dato

Tabla 115. Datos para el diseño de la bomba.

Según las necesidades de carga y caudal, por medio del catálogo de bombas PEDROLLO se ha determinado que la bomba a usar es la F 40/125C; esta cumple con las características para el diseño.

Calculo de la carga de succión neta positiva disponible			
Patm	9.93	mtrs	Tabla 17
Pva	0.24	mtrs	Tabla 18
NPSHd	8.826	CUMPLE	

Tabla 116. Carga de succión neta y condición de diseño.

Capítulo 4

4.1 CONCLUSIONES

- El riego por surcos es un sistema económico y rápido de implementar, debido a su facilidad tanto en diseño como construcción; pero tiene una alta necesidad de mano de obra.
- En el diseño de sistemas de riego por surcos, se caracteriza por ser básicamente un diseño de un canal, con las restricciones de que el caudal a transportar deberá ser controlado.
- Un sistema de riego por melgas se caracteriza por la alta necesidad de agua para su funcionamiento, el volumen de este líquido deberá ser superior a la velocidad de infiltración del suelo a sembrar para satisfacer las necesidades de la planta.
- El diseño de riego por aspersión demuestra que se puede aplicar a todo tipo de terreno, debido a que por medio de la bomba se puede hacer llegar el agua a cualquier lugar.
- Se ha optado por diseñar el sistema de riego por aspersión semimóvil, ya que este necesita un mayor proceso de cálculo, por el motivo de que se regara solo sectores del terreno en un intervalo de tiempo.
- Un riego por goteo no necesita una alta demanda de agua para su funcionamiento, es posible aplicarlo en casi todos los cultivos y tipos de suelo.
- El sistema de riego por goteo resulta ser el más costoso, pero posee la eficiencia de aplicación más alta de todos, ya que tiene la capacidad de mantener la planta siempre hidratada.

4.2 RECOMENDACIONES

- En caso de pendientes altas, se recomienda trazar los surcos en forma transversal a la pendiente y procurando que tenga una caída mínima.
- La forma que deben tomar los surcos será conforme al suelo a sembrar, en suelo arenoso deben tener forma triangular, en suelo arcilloso se usara una forma rectangular.
- Para la implementación de un riego por inundación, se recomienda nivelar los primeros 5 mtrs de melga con una pendiente del 0%.
- Un riego por inundación no debe ser aplicado en suelos poco profundos y de estructura inestable.
- Si se desea diseñar un sistema de riego por aspersión fija, se seguirá el mismo proceso ya mostrado anteriormente; con la excepción de que no se calculará el número de posiciones laterales en el área de riego, y el número de posiciones en el lateral por día.
- Se recomienda colocar la tubería principal del riego por aspersión en la mitad del terreno, para lograr una mejor distribución de sus laterales y mejorar la aplicación del agua a la planta.
- Para un sistema de riego por goteo, los goteros se deberán escoger dependiendo la utilidad que se vaya a dar al sistema y el cultivo a sembrar, debido a que estos tienen diferentes rangos de descarga de caudal.
- Para la selección de accesorios tales como bombas, goteros, etc. se recomienda utilizar los catálogos que cuenten con la mayoría de datos facilitados por el fabricante, para lograr un cálculo más rápido y preciso.

4.3 Bibliografía

1. Cadena, V. (2012), *Hablemos de Riego*, Ibarra, Ecuador: CREADORES GRAFICOS.
2. Cadena, V. (2014), *Hablemos de Riego con los Agricultores*, Ibarra, Ecuador: GRAFICOLOR.
3. Catálogo de productos Regaber. Goteros. Recuperado de https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/4215/Catalogo_General_2011-2014_LR.pdf
4. Catálogo General 60 Hz PEDROLLO. Bombas centrifugas. Recuperado de https://www.pedrollo.com/public/allegati/CP%200.25-2.2%20kW_ES_60Hz.pdf
5. Gobierno provincial del Cañar, (2012), *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Provincia del Cañar*, Azogues, Ecuador: Bg Offset
6. Gómez R, Nicolás A, Gutiérrez O, Juan P, Bernal G, Yruela M, Milla M, Alabarces R, Zafra P. (2010), *Riego por Aspersión*, Andalucía, España: Ediciones de Andalucía.
7. Leitón, J. (1985), *Riego y Drenaje*, Recuperado de <http://books.google.com.ec/>
8. Línea de aspersores PLASTIGAMA. Aspersores. Recuperado de http://sitio.plastigama.com/images/hojasTecnicas/Linea_aspersion.pdf
9. Mendoza, A. (2013). *Riego por Goteo*. Recuperado de <http://www.centa.gob.sv/docs/guias/riego/Riego%20por%20goteo.pdf>
10. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, (2014), *Manual de Riego Parcelario*, Quito, Ecuador.
11. Rojas, T. (2001), *Manual de Diseño de Métodos de Riego*, Santiago de Chile, Chile.

12. Sivilsaca, J. (2013). *Efecto de tres Frecuencias de Riego por Goteo en la Producción del Cultivo de Frejol*. (Trabajo de grado). Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador.
13. Vásquez A, Vásquez I, Vásquez C y Cañamero (2017), *Fundamento de la Ingeniería de Riego, Lima, Perú: Q&P Impresores S.R.L.*
14. Veintimilla, M. (2013) *Manual Software Aqua*. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/203776690/Manual-Aqua-Completo>