



ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**Diseño y automatización del sistema hidráulico de irrigación
por micro aspersión en la empresa “Hierbas Frescas de la
Pradera”.**

**Trabajo final de graduación para optar por el grado de
BACHILLERATO EN INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA.**

**Elaborado por
Ignacio Pino Masís**

San José, marzo, 2021.

Contenido

Dedicatoria	1
Agradecimientos	2
Resumen Ejecutivo	3
Capítulo I INTRODUCCIÓN	4
Planteamiento del Problema	5
OBJETIVOS	6
Objetivo General	6
Objetivos Específicos	6
Justificación	7
Antecedentes	8
Proyecciones	12
Limitaciones	13
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	14
Riego	15
Sistemas de Riego	15
Presurizado	16
Goteo	16
Ventajas	17
Desventajas	17
Aspersión	18
Micro aspersión	18
Ventajas	18
Desventajas	19
Tipos de emisores de riego para micro aspersores según su caudal	20

Tipo de instalación	20
Diseño agrónomo	21
Requerimientos Hídricos del cultivo	21
Evapotranspiración	21
Evaporación	22
Transpiración	22
Evapotranspiración (ET)	24
Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET _o)	24
Evapotranspiración del cultivo (ETC)	25
Fórmula Penman-Monteith	26
Resistencia aerodinámica (r_a)	26
Resistencias superficiales total r_s	28
Presión atmosférica (P)	29
Calor latente de vaporización (λ)	30
Constante Psicrométrica (γ)	30
Presión media de vapor de la saturación (e_s)	31
Pendiente de la curva de presión de saturación de vapor (Δ)	31
Presión real de vapor (e_a) derivada de datos de humedad relativa	32
Tipo de suelo	33
Lámina máxima de riego	33
Lámina neta de agua	34
Lámina bruta	34
Frecuencia de Riego	36
Tiempo de riego (Tr)	36
Diseño Hidráulico	38

Tubería de Conducción	38
Laterales	40
Caudal	40
Pérdidas de carga	41
Pérdidas por accesorios	44
Materiales de los Tubos de Riego	46
Válvulas	46
Electroválvulas	47
Tipos de electroválvulas	48
Filtrado	50
Sistemas de riego automatizado.	52
Controlador de Procesos	52
Controlador lógico programable o PLC	52
Funcionamiento	52
Software de los controladores	54
Operaciones para la programación	54
Conjunción (AND)	55
Disyunción (OR)	56
Inversión (NOT)	56
Exclusiva (EXOR)	57
Relé auto enclavador	58
Retardo a la desconexión	59
Tablero para el PLC	59
Indicador Financiero	60
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO.	61

Enfoque de la investigación	62
Método de la investigación	62
Fuentes de información	62
VARIABLES O UNIDADES DE ANÁLISIS	63
Instrumentos	65
Proceso para la recolección y análisis de datos	66
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS	67
Desarrollo	68
Selección del micro aspersor	74
Tiempo de riego	78
Pérdidas por fricción	78
Diseño Hidráulico	82
Soportaría para la tubería	86
Automatización	87
Tablero	89
Valoración económica	91
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	94
Conclusiones	95
Recomendaciones	96
Referencias	97
ANEXOS	99
Tablas Coeficientes K	99

Dedicatoria

Dedico el presente trabajo a mi madre que con tanto esfuerzo me ha apoyado enseñándome a seguir a delante y superarme en cada día, a mi padre por ayudarme a seguir un rumbo en este proceso académico, a mi abuela la cual sus consejos que fueron y seguirán siendo de gran importancia en mi vida.

Agradecimientos

Agradezco primeramente al señor Félix Fonseca Mata por brindarme la oportunidad de realizar el presente trabajo en su empresa, así como el asesoramiento y guía dada durante este proceso.

Le doy gracias a los profesores que han contribuido a mi desarrollo profesional, como al profesor Gilbert Mora que fue de gran ayuda gracias a sus consejos y guías.

Resumen Ejecutivo

El presente trabajo fue desarrollado en la empresa Hierbas Frescas de la Pradera, la cual se dedica al cultivo y comercialización de hortalizas de hoja verde en la zona de Paraíso de Cartago.

Actualmente se cuenta con un sistema de riego por goteo el cual presenta una serie de inconvenientes para la empresa desperdiciando parte del agua, el sistema es manejado de una manera simple por medio de una botonera que acciona la bomba hidráulica por lo que no se cuentan con sensores de humedad y de control, por lo cual la empresa desea cambiarlo por un sistema de micro aspersión automatizado.

Por lo que este trabajo pretende diseñar un sistema de riego aéreo por micro aspersión y controlarlo de manera automática, realizando así visitas al lugar para determinar el área y tipo de terreno definiendo los factores que van a influir tanto para los requerimientos agronómicos como las bases para el diseño hidráulico.

Se realizará el diseño hidráulico del sistema tomando como base el código de instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificaciones de Costa Rica, determinando los diámetros, distancias, material de la tubería, distribución, caudal y presión de operación de la bomba.

Obtenidos los requerimientos agronómicos del cultivo y diseñado el sistema hidráulico, se integrará un sistema automático con el fin de que esté acorde con la frecuencia de riego y así eliminar el desperdicio de agua en los momentos de riego.

Ya terminado el análisis para el diseño del sistema automatizado de riego por microaspersión se le entregará a la empresa dicha propuesta la cual sirva como una alternativa para el cambio del sistema de riego actual.

Capítulo I INTRODUCCIÓN

Planteamiento del Problema

¿Cuál es el diseño del sistema de riego por micro aspersión mediante automatización que abastece el agua que el cultivo necesita, con un aprovechamiento óptimo del recurso hídrico en el invernadero ubicado en Paraíso de Cartago?

OBJETIVOS

Objetivo General

-Determinar el diseño del sistema de riego por micro aspersion mediante automatización que abastece el agua que el cultivo necesita, con un aprovechamiento óptimo del recurso hídrico en el invernadero ubicado en Paraíso de Cartago.

Objetivos Específicos

- Determinar los requerimientos necesarios del sistema con base en un análisis de las condiciones actuales del invernadero, para el proceso de diseño.
- Hacer una evaluación del sistema de riego actual mediante un análisis hidráulico con el fin de optimizar el sistema.
- Actualizar el sistema de riego del invernadero con base en los caudales máximos de los micro aspersores, cálculo del diámetro de la tubería, tipo y pérdidas de carga en la tubería, así como la ruta crítica, según la condición actual del invernadero para procurar el correcto funcionamiento y abastecimiento del sistema de agua.
- Automatizar el sistema de riego propuesto mediante un programa de horario de riego programado en un PLC de marca Siemens para así lograr un aprovechamiento óptimo del agua.
- Realizar una evaluación financiera a través de una relación costo beneficio con el fin de determinar la viabilidad económica del proyecto.

Justificación

La empresa “Hierbas Frescas de la Pradera” ubicada en Paraíso de Cartago se dedica al cultivo y comercialización de hortalizas de hoja verde al por mayor, las cuales son cultivadas en invernaderos donde se pueden controlar algunos factores externos como lo son la radiación solar, la lluvia, el viento entre otros.

En estos invernaderos actualmente se utiliza un método de riego denominado “riego por goteo”, sistema que presenta una serie de limitaciones para la empresa dado que es ineficiente en el manejo del recurso hídrico, en consecuencia, es evidente que se requiere un cambio del mismo.

Es por esta razón que esta investigación tiene como objetivo principal proponer el diseño de un sistema de riego tipo por microaspersión, que permitirá ahorro en costos de producción, mayor eficiencia y eficacia del recurso hídrico entre lo más destacado.

Con el diseño del nuevo sistema de riego se pretende además que la empresa supla los requerimientos hídricos de la plantación en los invernaderos. De igual forma la idea es automatizarlo para así garantizar la racionalización y aprovechamiento del agua, dado que existe la ventaja de en el lugar existe un sumidero para extraerla.

Para ello será necesario realizar una inspección de las áreas con cultivos a fin de realizar los cálculos y determinar los requerimientos hídricos de las plantas, distribución de tubería, diámetros, frecuencia de riego y demás para realizar el sistema de riego propuesto acorde con las necesidades que se identifiquen.

Antecedentes

INSTITUCIÓN: UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

TÍTULO: MANUAL DE DISEÑO DE SISTEMAS DE RIEGO TECNIFICADO

AUTOR: Tapia Cadena Daniel Fernando

FECHA: QUITO, ECUADOR, 2014.

El presente trabajo denominado “manual de diseño de sistemas de riego tecnificado”.

Uno de los objetivos principales de este trabajo fue “Elaborar un Manual de Diseño Práctico de Sistemas de Riego Tecnificado que entregue los conocimientos mecánicos e hidráulicos necesarios para su cálculo, apoyada por los requerimientos agronómicos básicos que se involucran en un Sistema de Riego, desde el punto de vista del cultivo y su entorno”.

Al concluir este proyecto el autor llegó a la conclusión de que los ejemplos realizados, tanto para el riego por aspersión como por goteo permiten al usuario tener una guía paso a paso del diseño.

INSTITUCIÓN: UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

TÍTULO: Sistema de Riego Automatizado por Microaspersión para el Cultivo de Cacao en el Municipio de Cabuyaro, Meta AUTORES: JULIO CÉSAR MENDOZA BALDERRAMA JONATHAN MIGUEL BERMÚDEZ VALDEZ.

AUTORES: Angela María Hernández, Arango Ingeniera Agrícola

FECHA: Bogotá, Colombia agosto de 2019.

El enfoque de este trabajo es el de automatizar un sistema de riego por microaspersión para así garantizar un control y buen funcionamiento del sistema, así como la optimización del recurso hídrico. Una de las conclusiones a la que se llegó fue de que el uso de sistemas automatizados de riego para el cultivo de cacao es una opción recomendada para el aumento de la producción reflejado en un 10%. Además, se demostró que el proyecto es viable económicamente ya que se obtuvo una VAN y TIR mayores que cero, y mayores a la tasa mínima de rendimiento esperada por el inversionista, de tal forma estos valores superan las expectativas del mismo.

INSTITUCIÓN: Tecnológico de Costa Rica

TÍTULO: Diseño y selección de dos sistemas de riego por microaspersión y goteo para rambután (*nephelium lappaceum* l.) En la zona de Quepos.

AUTOR: José Eduardo Murillo Bolaños.

FECHA: CARTAGO, 2018.

El presente trabajo denominado “Diseño y selección de dos sistemas de riego por microaspersión y goteo para rambután (*nephelium lappaceum* l.) En la zona de Quepos”. Uno de los objetivos principales de este trabajo fue realizar un diseño de riego por microaspersión para el cultivo de rambután y Seleccionar entre ambos diseños el más viable económicamente y además tomando en cuenta factores adicionales como dificultad de instalación y de operación para su implementación.

Al concluir este proyecto Se diseñó un sistema de riego con microaspersión que utiliza el micro aspersor Rain Bird Micro Bird Spinner con boquilla SP24-340 (Roja) con caudal de 130 L/h con diámetro mojado de 7,8 m a 3 bar de presión, con presión a la entrada de la válvula de 32,5 mca, diámetro del lateral en ¾” SDR 17, diámetro de la múltiple en 2” SDR 41 y diámetro de la principal en 3” SDR 41; el sistema es activado por una bomba de combustión que proporciona un caudal de 19 m³ /h a una presión de 52 mca, y se demostró que aunque la propuesta de goteo tiene ciertas ventajas como costo general menor y un volumen de reservorio menor, entre ambos sistemas resulta más viable de instalar el de microaspersión uno de los motivos es el de que toda la tubería está enterrada lo cual aumenta la protección de la misma la radiación solar y daños mecánicos por el paso de animales o maquinaria, alargando su vida útil.

INSTITUCIÓN: Tecnológico de Costa Rica

TÍTULO: Diseño de un sistema de conducción y de dos sistemas de riego para café en el Centro de Investigación del Café de Costa Rica.

Autor: Laura Saborío Gutiérrez.

FECHA: CARTAGO, 2018.

En el presente trabajo se desarrollaron los siguientes objetivos: realizar los diseños agronómicos e hidráulicos con el fin de satisfacer los requerimientos de presiones y caudal en todas las parcelas, realizar los estudios ambientales, sociales y económicos que puedan influir en la implementación del proyecto y determinar los requerimientos hídricos del cultivo del café, así como un estudio previo del suelo, de manera que existan los datos para la elaboración de los diseños.

En el cual se concluyó con respeto a los objetivos lo siguiente: realizando los respectivos análisis se determinó que los diseños son viables técnicamente, se utilizaron todos los datos existentes de suelo y agrometeorológicos, como los obtenidos en campo por medio del levantamiento topográfico, Se diseñaron satisfactoriamente los dos sistemas de riego, uno por goteo y otro por aspersión. Además, de su conducción. Todos estos respetando los criterios agronómicos e hidráulicos. El sistema requiere sistema de bombeo, debido a la topografía. El bombeo se calculó con la presión requerida para el sistema de riego por aspersión.

INSTITUCIÓN: Tecnológico de Costa Rica

TÍTULO: Diseño de un sistema prototipo de riego energéticamente autónomo para estructuras verdes.

AUTOR: Frayzer Esaú Bonilla Matamoros.

FECHA: Cartago, 1 de marzo de 2012.

El presente trabajo denominado “Diseñar y construir un sistema de riego prototipo que permita satisfacer las necesidades de riego y suministro de nutrientes para una estructura verde”. Uno de los objetivos principales de este trabajo fue identificar los parámetros necesarios para generar un patrón de riego y suministro de nutrientes, diseñar y construir un sistema de distribución de fluidos.

Al concluir este proyecto el autor llegó a la conclusión de que el sistema de distribución de fluidos tiene la capacidad de generar

una dispersión de 250 gotas a una lámina de papel a 15 cm de altura con los aspersores a 2 mm de profundidad. Además, del cálculo del “Periodo del ciclo de riego” (T_r), puede variar entre 1s y 18horas – 12min, con un ciclo de trabajo que varía entre 0 y 10.

INSTITUCIÓN: Tecnológico de Costa Rica

TÍTULO: Diseño De Un Sistema De Riego Por Aspersión Aplicado Al Modelo Productivo De Agrícola Industrial Sukia S.A.

AUTOR: Rodolfo Salazar Morera.

FECHA: CARTAGO, 2019.

En el siguiente trabajo de graduación denominado “Diseño De Un Sistema De Riego Por Aspersión Aplicado Al Modelo Productivo De Agrícola Industrial Sukia S.A” en el cual sus objetivos son: realizar el diseño hidráulico para el sistema riego por aspersión, realizar el diseño agronómicos para los cultivos de papaya y plátano.

En este trabajo se logró determinar el diseño de la tubería principal se obtuvo un diámetro de 55 milímetros en el material polietileno de baja densidad, además de la necesidad hídrica para los cultivos de papaya y plátano se determinó en 2,27 milímetros por día en la época más crítica.

Proyecciones

- Diseñar un sistema de riego tipo aéreo con micro aspersores automatizado el cual cumpla con todos los requerimientos contemplando el tipo de planta y estructura del invernadero y valorar los beneficios de la automatización del proceso en el sistema.
- Se pretende que este diseño sirva como base y guía para que la empresa utilice el sistema propuesto.
- Se logrará determinar el ahorro y aprovechamiento del recurso hídrico.
- Determinar los factores implicados en el diseño de sistemas de riego con micro aspersores en un invernadero.

Limitaciones

Durante el desarrollo del trabajo se tuvieron las siguientes limitaciones:

- En el lugar donde se realizará el diseño no es posible determinar el espesor de la tubería existente.
- No se poseen datos técnicos con respecto a la bomba hidráulica por lo que se asumirá una que esté cercana a la realidad en caso de ser necesaria.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

Riego

El riego se puede definir como: “La actividad de suministrarle a los cultivos, de forma eficiente y sin alterar la fertilidad del suelo, el agua requerida cuando esta no puede ser satisfecha de forma natural a través de la precipitación con el objetivo de garantizar su crecimiento óptimo y cubrir las necesidades de lavado de las sales de forma que evite su acumulación en el suelo” (Tarjuelo ,2005).

Dado que las condiciones meteorológicas son muy variables, el riego de forma localizada es una parte crucial para el desarrollo de la planta por esta razón se desarrollan nuevas maneras de suministrar agua a la plantación.

Sistemas de Riego

Se denomina sistema de riego o perímetro de riego, al conjunto de estructuras, que hacen posible que una determinada área pueda ser cultivada con la aplicación del agua necesaria a las plantas. Un sistema de riego consiste en un conjunto de elementos que garantiza la conducción y distribución eficiente del agua dentro del área regada. El conjunto de componentes dependerá si se trata de un sistema de riego superficial o presurizado (Pereira, 2010).

Las tecnologías de riego que se emplean en la actualidad se dividen en las siguientes ramas las cuales son: superficial y presurizado donde en este último se encuentra el tipo de riego por micro
aspersión.

Presurizado

Estos sistemas son caracterizados por tener tuberías a presión donde se conduce el agua hacia las plantas ya sea en forma de gotas(goteo) como de lluvia (micro aspersión y aspersión), debido a esto se hace un alto consumo de energía por parte de la bomba hidráulica. Además, de poseer un sistema de filtrado, esto con el objetivo de que no existan posibles obstrucciones en la tubería junto con el sistema de bombeo.

- Entre los componentes que integran este tipo de sistema se encuentran, por ejemplo:
 - Fuente de abastecimiento de agua (toma de pozo directo o desde un reservorio).
 - Cabezal de riego: compuesto por la bomba, filtros, unidad de fertirriego, válvulas y aparatos de control y medición).
 - Tuberías de conducción (primaria, secundaria y/o terciaria).
 - Válvulas de campo.
 - Laterales de riego (de pared gruesa o cintas) con sus emisores (goteros, micro aspersores y aspersores), estos dispositivos son los encargados de dotar de agua al cultivo. (Pocito, 2013).

Goteo

Este método de riego consiste en la aplicación de agua en forma de gotas de manera continua en un lugar próximo a la planta, mojando solo parte del volumen de suelo. Es un riego de alta frecuencia donde se debe reponer el agua de manera constante. Con este método, en el suelo se forma un bulbo húmedo debajo de cada goteo donde la planta desarrolla una mayor cantidad las raíces. Cabe aclarar que, en este sistema, en la tubería, el agua circula con presión, pero la gota cae al suelo sin presión. Esto se debe a que el emisor o goteo posee un diseño, según el fabricante, que permiten perder presión y que caigan gotas. Se suelen diseñar para que arrojen diferentes caudales (2; 2,5; 3; 4 litros/hora). (Demin, 2014).

Ventajas

- Uniformidad de aplicación debido a que la aplicación se realiza por emisores con un caudal homogéneo, es posible la entrega con un buen grado de uniformidad en terrenos con topografía irregular.
- Menor presencia de malezas, ya que se distribuye en una zona localizada dejando sin nutrientes a zonas posibles de crecimiento de malezas.
- Automatización parcial o total del sistema.

Desventajas

Es importante conocer las desventajas de este sistema ya que en estos puntos radica la razón de inmigración hacia otro tipo de sistema como lo es en este caso el sistema previamente mencionado, el cual es el sistema de riego con micro aspersores, las cuales son mencionadas por (gardeneas práctica el garden, 2016)

- Posible taponamiento de los goteros debido a las sales que pueda contener el agua o por la mala calidad del gotero. Para ello recomendamos el uso de sistema de filtrados, algo que supone un aumento del presupuesto.
- No se puede labrar el suelo una vez está instalado el sistema.
- Alto coste de mantenimiento.
- Requiere de mayor preparación técnica por parte del agricultor.
- Necesidad de fertilizantes totalmente solubles en agua.
- Necesidad de mano de obra especializada, ya que se necesita un monitoreo constante de los goteros, obstrucciones entre otros elementos del sistema.

Aspersión

En este sistema se distribuye el agua a presión a la plantación en forma de lluvia, la cual tiene la gran ventaja de poder ser controlada ya sea por cantidad y frecuencia. La tubería puede ser de metal, Cloruro de polivinilo (PVC) o polietileno y luego sale por orificios llamados aspersores, micro aspersores o micro jets según lo indica Valverde y Villalobos (2016).

Micro aspersión

Este sistema distribuye el agua en la superficie del suelo en forma de lluvia muy fina, mojando de esta manera el área determinada dependiendo de cada tipo de aspersor, el cual requiere mucho menos presión que por el método de aspersión. Es recomendable para cultivos como frutales, riego en viveros y algunas hortalizas. Los más comunes son los micro aspersores propiamente dichos en los que ya sea clavados en un soporte en el suelo o colgados a cierta altura donde estos se abastecen de agua de una manguera que suele estar superficial (Demin, 2014).

Ventajas

Algunas de las ventajas de este sistema son:

- Alta uniformidad de aplicación de agua.
- Eficiencia de riego alta.
- Se puede aplicar fertilizante con el agua de riego.
- Aplicable a cualquier textura del suelo.
- No requiere movimientos de tierra, o sea, no hay que llevar a cabo nivelación, el movimiento de tierra que se da es solo para enterrar la tubería.
- Requiere poco tiempo para su implementación.
- El equipo, si es móvil, se puede utilizar en otras áreas.
- Es fácil y factible de automatizar.

Desventajas

- Alto costo inicial, se tiene costo de tubería, accesorios, etc.
- Hay distorsiones en condiciones de viento fuerte.
- Puede dar origen a la proliferación de enfermedades fungosas.
- Si la gota es muy gruesa puede causar un sellamiento al suelo y causar daños mecánicos a flores y frutos.
- El agua debe tener cierta calidad, ya que las boquillas se pueden atascar.
- Cuando no se tiene un caudal continuo, su uso no es el adecuado.
- En suelos de muy bajas velocidades de infiltración, se dificulta su uso.
- Si las líneas principales y laterales no se entierran, pueden dificultar las labores agrícolas.

Para elegir un micro aspersor hay que tener en cuenta en cuenta:

- El tipo de boquilla en función del caudal necesario.
- La presión de funcionamiento, que normalmente estará comprendida entre 1,5 y 4 bar.
- La separación entre micro aspersores, que deberá coincidir con su radio de alcance.
- La separación entre líneas.
- El modo de instalación.

Descrito lo anterior este sistema al ser diseñado en un invernadero el factor del viento no es una limitante para el mismo, por lo que factores como una presión y caudal constante son factores importantes para tomar en cuenta para una correcta distribución del agua; por el contrario si una presión que no esté de acuerdo con los parámetros de diseño ésta puede influir en el tipo de gota entregada, en cambio si la presión está por debajo de la diseñada se obtiene una menor cobertura y un mayor diámetro de la gota, por otro lado, si la presión es excesiva se tendrá mayor cobertura, gotas de tamaño muy fino y pérdidas por evaporación y viento como lo indica Villalobos (2015).

Tipos de emisores de riego para micro aspersores según su caudal

Existen distintos modelos de emisores, según sean las necesidades del cultivo y equipo también hay un modelo distinto de emisor para cada instalación, estos se diferencian por colores, cada cual da un caudal concreto y demás características particulares.

Los cuales se pueden clasificar por el caudal que aportan entre tres tipos diferentes:

Bajo caudal: 20 - 40 l/h, utilizados en plantaciones densas de hortícolas en invernadero, en viveros y en semilleros.

Mediano caudal: Este tipo comprende un caudal de 50 a 80 l/h.

Alto caudal: 100 l/h o más, utilizados en plantaciones de hortícolas en invernadero y árboles.

Tipo de instalación

Para la instalación de los micro aspersores existen varias maneras de realizar este proceso, por lo que se dividen entre los siguientes métodos:

- Insertados: directamente en la tubería de riego.
- Colgados: conectados mediante microtubos a la tubería de riego.
- Instalados: sobre estacas de distintas formas y dimensiones que se elevan en el suelo y sostienen al micro aspersor a una cierta altura sobre el mismo.

Diseño agrónomo

Requerimientos Hídricos del cultivo

Dado que todos los seres vivos incluido las plantas necesitan del recurso del agua para crecer y desarrollarse, en el caso específico de las plantas las cuales según (Amézquita, 1999), poseen una construcción entre 90% y un 95% de agua. El porcentaje restante (10-5%) lo constituyen las cenizas, las cuales portan los elementos nutritivos, de esta distribución biológica surge el principio de la esencialidad del agua para las plantas; por esta razón es fundamental que el personal encargado del riego tenga siempre presente el estado de humedad del suelo y de la succión del agua en el suelo, además de la hidratación de las plantas.

Para determinar las necesidades hídricas de los cultivos primero se tiene que determinar la tasa de evapotranspiración, para así satisfacer de modo tal que el cultivo se pueda desarrollar.

Evapotranspiración

Se conoce como evapotranspiración (ET) la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo (FAO). Las unidades de la evapotranspiración son los milímetros (mm) por unidad de tiempo(día) o mm/día, la cual se refiere a la cantidad de agua perdida en una superficie cultivada en unidades de altura de agua por el tiempo, este puede ser horas, días, años.

Evaporación

La evaporación es el proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua (vaporización) y se retira de la superficie evaporante (remoción de vapor). El agua se evapora de una variedad de superficies, tales como lagos, ríos, caminos, suelos y la vegetación mojada. Los factores implicados en este fenómeno son los siguientes: radiación solar directa y en menor grado la temperatura ambiente del aire.

La fuerza impulsora para retirar el vapor de agua de una superficie evaporante es la diferencia entre la presión del vapor de agua en la superficie evaporante y la presión de vapor de agua de la atmósfera circundante. A medida que ocurre la evaporación, el aire circundante se satura gradualmente y el proceso se vuelve cada vez más lento hasta detenerse completamente si el aire mojado circundante no se transfiere a la atmósfera o en otras palabras no se retira de alrededor de la hoja. El reemplazo del aire saturado por un aire más seco depende grandemente de la velocidad del viento. Por lo tanto, la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y la velocidad del viento son parámetros climatológicos para considerar al evaluar el proceso de la evaporación, las cuales son mitigadas en invernaderos donde se pueden controlar factores anteriormente mencionados como lo son, el viento, condiciones meteorológicas entre otras (Estudio FAO Y Drenaje).

Transpiración

La transpiración consiste en la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de la planta y su posterior remoción hacia la atmósfera. Los cultivos pierden agua predominantemente a través de las estomas. Estas son pequeñas aberturas en la hoja de la planta a través de las cuales atraviesan los gases y el vapor de agua de la planta hacia la atmósfera (Figura 1). El agua, junto con algunos nutrientes, es absorbida por las raíces y transportada a través de la planta. La vaporización ocurre dentro de la hoja, en los espacios intercelulares y el intercambio del vapor con la atmósfera es controlado por la abertura estomática. Casi toda el agua absorbida del suelo se pierde por transpiración y solamente una pequeña fracción se convierte en parte de los tejidos vegetales.

Representación esquemática de un estoma

Atmósfera

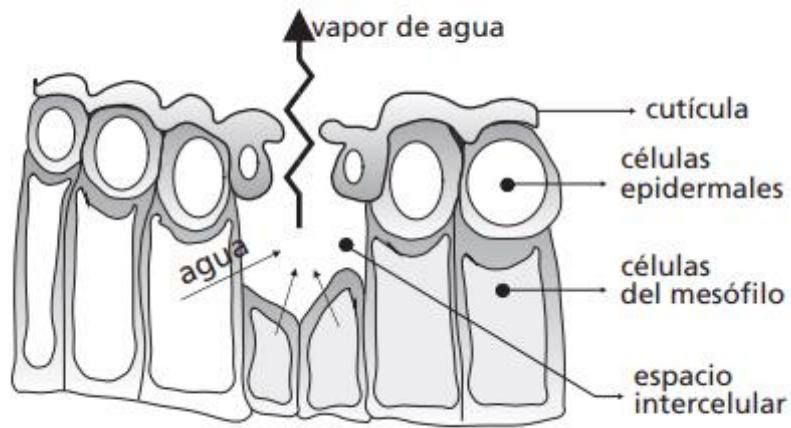


Figura 1, (FAO)

Los factores que influyen en la evapotranspiración se clasifican en tres tipos los cuales son, las variables climáticas, factores de cultivo y el manejo y condiciones ambientales como se muestra en la Figura 2.

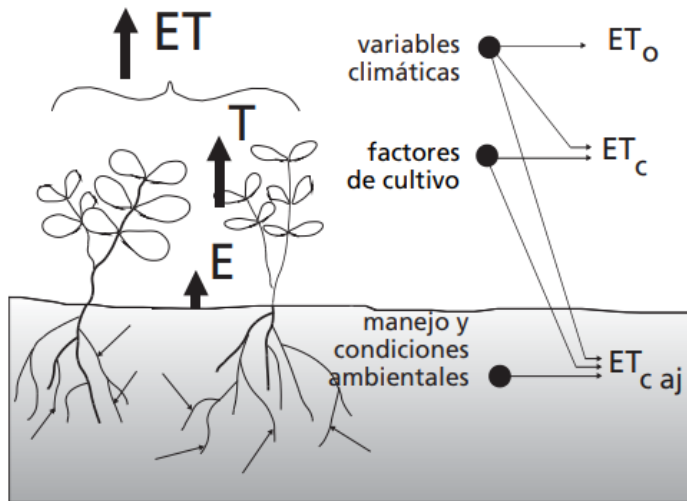


Figura 2, (FAO)

Evapotranspiración (ET)

La evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente y no hay una manera sencilla de distinguir entre estos dos procesos. Aparte de la disponibilidad de agua en los horizontes superficiales, la evaporación de un suelo cultivado es determinada principalmente por la fracción de radiación solar que llega a la superficie del suelo. Por esta razón se hace una relación que permite la facilitación de los cálculos ya que de otra manera se dificulta aún más la obtención de los datos de dos fenómenos separados presentes al momento del riego, ya que está directamente ligado al proceso de crecimiento por lo cual conforme la planta se empieza a desarrollar en sus primeras etapas la evaporación presente en suelo es mayor dado que el terreno no posee obstrucción alguna para los factores que producen este tipo de fenómeno; por el contrario cuando la planta empieza a crecer se genera de manera gradual una sombra en el suelo por lo que los factores influyentes en la evaporación se ven disminuidos por otro lado, la transpiración en el suelo se vuelve de mayor prioridad. (FAO).

Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o)

Se define como la tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia, que ocurre sin restricciones de agua a un cultivo con características específicas y se denomina con las siglas ET_o, la cual toma y encuentra la demanda de evapotranspiración de la atmósfera, independientemente del tipo y desarrollo del cultivo, y de las prácticas de manejo, por lo que los factores del suelo no influyen en él mismo. (Estudio FAO Y Drenaje), dado que es afectado por factores atmosféricos este puede ser calculado con datos meteorológicos.

Evapotranspiración del Cultivo (ETc)

La evapotranspiración de un cultivo será diferente a la del cultivo de referencia (ETo) en la medida en que sus características de cobertura del suelo, propiedades de la vegetación y resistencia aerodinámica difieran de las correspondientes al pasto. Los efectos de las características que distinguen al cultivo del pasto están incorporados en el coeficiente del cultivo (Kc), el cual se refiere a la diferencia de evaporación y transpiración entre el cultivo de referencia y el de campo.

En la metodología del coeficiente del cultivo, la evapotranspiración del cultivo se calcula multiplicando ETo por Kc, como se observa en la siguiente fórmula

$$ETc = Kc ETo$$

Donde:

ETc evapotranspiración del cultivo [mm/día].

Kc coeficiente del cultivo [adimensional].

ETo evapotranspiración del cultivo de referencia [mm/día].

Tabla 1 Conversiones de unidades

	Altura de agua	Volumen por unidad de área		Energía por unidad de área *
	mm/día	m ³ /(ha-día)	l/(s-ha)	MJ/(m ² -día)
1 mm/día	1	10	0.116	2.45
1 m ³ /(ha-día)	0.1	1	0.012	0.245
1 l/(s-ha)	8.64	86.4	1	21.17
1 MJ/(m ² -día)	0.408	4.082	0.047	1

Fórmula Penman-Monteith

Para calcular la evapotranspiración de referencia (ET_o) por medio de la ecuación Penman-Monteith, la cual contempla los datos atmosféricos que afectan al crecimiento del cultivo además de otros factores, a continuación, se muestra dicha fórmula:

$$\lambda ET = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho_a c_p \frac{(e_s - e_a)}{r_a}}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)}$$

donde “ R_n ” es la radiación neta, “ G ” es el flujo del calor en el suelo, “ $(e_s - e_a)$ ” representa el déficit de presión de vapor del aire, “ ρ_a ” la es la densidad media del aire a presión constante, “ c_p ” es el calor específico del aire, Δ representa la pendiente de la curva de presión de vapor de saturación, “ γ ” es la constante psicrométrica, y “ r_s ” y “ r_a ” son las resistencias superficiales (total) y aerodinámica, dado que algunos datos son difíciles de obtener estos mismos se determinan con los datos existentes como lo son la temperatura máxima y mínima para de esta manera calcular por ejemplo, la curva de presión de vapor entre otros factores que así lo ameriten. Teniendo este inconveniente se presentan a continuación una serie de fórmulas complementarias para el cálculo de cada variable no medida:

Resistencia aerodinámica (r_a)

La transferencia de calor y de vapor de agua desde la superficie evaporante hacia el aire que se encuentra sobre la planta, está determinada por la resistencia aerodinámica:

$$r_a = \frac{\ln \left[\frac{z_m - d}{z_{om}} \right] \ln \left[\frac{z_h - d}{z_{oh}} \right]}{k^2 u_z}$$

donde:

r_a : resistencia aerodinámica (s/m).

z_m : altura de medición del viento (m).

zh: altura de medición de humedad (m).

d: plano de altura de desplazamiento cero (m).

zoh : longitud de la rugosidad que gobierna la transferencia del momentum (m),

zom: longitud de la rugosidad que gobierna la transferencia de calor y vapor de agua (m),

k: constante de Von Karman, 0,41 (-),

uz: velocidad del viento a la altura z (m/s).

Dado que los factores dependen de la altura del cultivo y de su arquitectura, en este aspecto, se han desarrollado varias ecuaciones empíricas para la estimación de “d”, “zom” y de “zoh”.

Por lo que para la transferencia del momento que gobierna la longitud de la rugosidad, zom (m), se pueden estimar de la altura del cultivo h (m) por medio las siguientes ecuaciones:

$$d = 2/3 h$$

$$zom = 0,123 h$$

La longitud de la rugosidad que gobierna la transferencia de calor y vapor, zoh (m), se puede aproximar por:

$$zoh = 0,1 zom$$

El libro nos indica que si se asume una altura constante de cultivo de 0,12 m y una altura estandarizada para la medición de la velocidad del viento, temperatura y humedad de 2 m ($z_m = z_h = 2$ m), la resistencia aerodinámica r_a para la superficie de referencia pasa a ser expresada como:

$$r_a = \frac{\ln \left[\frac{2 - 2/3(0,12)}{0,123(0,12)} \right] \ln \left[\frac{2 - 2/3(0,12)}{(0,1)0,123(0,12)} \right]}{(0,41)^2 u_2} = \frac{208}{u_2}$$

Donde u_2 es la velocidad del viento en metros sobre segundo (m/s) a 2m.

Resistencias superficiales total r_s

$$r_s = \frac{r_1}{IAF_{activo}}$$

Donde

r_s : resistencia superficial (total) [s m-1].

r_1 : resistencia estomática total de una hoja bien iluminada [s m-1].

IAF_{activo} índice activo de área foliar [m2 (área de la hoja) m-2 (superficie del suelo)].

La resistencia superficial se establece como una cantidad adimensional, que presenta el área de la hoja (lado superior solamente) por unidad de área de suelo debajo de ella. Se expresa como m2 área foliar por m2 de área de suelo.

Para la mayoría de fórmulas se utiliza un cultivo de referencia y una superficie el cual es el pasto, este concepto de una superficie de cultivo y referencia fue introducido con el fin de obviar la necesidad de definir los parámetros únicos de evaporación para cada cultivo y etapa de crecimiento. por lo que la ecuación general se expresa como:

$$IAF_{activo} = 0,5 IAF$$

La ecuación que toma en consideración el hecho de que en general solamente la mitad superior del pasto denso está contribuyendo activamente a la transferencia superficial de calor y vapor de agua, para el pasto una ecuación general para IAF es:

$$IAF = 24 h$$

donde “h” es la altura del cultivo [m].

La resistencia estomática, r_l , de una sola hoja tiene un valor de alrededor de 100 s m⁻¹ bajo condiciones bien regadas. Si se asume una altura de cultivo de 0,12 m, la resistencia superficial, r_s [s m⁻¹], para el pasto será:

$$r_s = \frac{100}{0,5(24)(0,12)} = 70 \text{ s m}^{-1}$$

El método FAO Penman-Monteith fue desarrollado haciendo uso de la definición del cultivo de referencia como un cultivo hipotético con una altura asumida de 0,12 m, con una resistencia superficial de 70 s m⁻¹ y un albedo de 0,23 y que representa a la evapotranspiración de una superficie extensa de pasto verde de altura uniforme, creciendo activamente y adecuadamente regado, esto produce globalmente valores más consistentes con datos reales de uso de agua de diversos cultivos.

Presión atmosférica (P)

La presión atmosférica, P, es la presión ejercida por el peso de la atmósfera terrestre. La evaporación en altitudes elevadas ocurre en parte gracias a la baja presión atmosférica que se expresa con la constante psicrométrica.

Para calcular P puede emplearse una simplificación de la ley de los gases ideales, a una temperatura atmosférica estándar de 20°C:

$$P = 101,3 \left(\frac{293 - 0,0065 z}{293} \right)^{5,26}$$

Donde

P Presión atmosférica [kPa]

z Elevación sobre el nivel del mar [m]

Calor latente de vaporización (λ)

Como λ varía levemente dentro de rangos de temperaturas normales, se considera un valor constante de 2,45 MJ kg⁻¹ para la simplificación de la ecuación de FAO Penman-Monteith. Este valor corresponde al calor latente de vaporización a una temperatura del aire de alrededor de 20 °C.

Constante Psicrométrica (γ)

La constante psicrométrica, γ , se calcula por:

$$\gamma = \frac{c_p P}{\epsilon \lambda}$$

donde

γ constante psicrométrica [kPa °C⁻¹],

P presión atmosférica [kPa],

λ calor latente de vaporización, 2,45 [MJ kg⁻¹],

c_p calor específico a presión constante, 1,013 x 10⁻³ [MJ kg⁻¹ °C⁻¹],

ϵ cociente del peso molecular de vapor de agua /aire seco = 0,622.

Sustituyendo datos se obtiene la siguiente expresión:

$$\gamma = 0,665 * 10^{-3} * P$$

Presión media de vapor de la saturación (e_s)

La presión de saturación de vapor puede ser calculada en función de la temperatura del aire, pues depende de ella. La relación entre ambas variables se expresa como:

$$e^o(T) = 0,6108 * \exp\left[\frac{17,27 * T}{T + 237,3}\right]$$

Donde

$e^o(T)$: presión de saturación de vapor a la temperatura del aire, T [kPa].

T: temperatura del aire [°C]

exp [...]: se define como 2,7183 (base del logaritmo natural) elevado a la potencia [...]

Debido a la característica no-lineal de la ecuación, la presión media de saturación de vapor para un día, semana, década o mes, debe ser calculada como el promedio de la presión de saturación de vapor a la temperatura máxima media y la presión de saturación de vapor a la temperatura mínima media del aire para ese período como se observa en la siguiente expresión.

$$e_s = \frac{e^{\alpha(T \max)} + e^{\alpha(T \min)}}{2}$$

Pendiente de la curva de presión de saturación de vapor (Δ)

La pendiente de la curva se refiere a la relación entre la presión de saturación de vapor y la temperatura, Δ . La pendiente de la curva a una temperatura dada se da por:

$$\Delta = \frac{4098 * \left[0,6108 * \exp\left(\frac{17,27 * T}{T + 237,3}\right) \right]}{(T + 237,3)^2}$$

donde

Δ : pendiente de la curva de la presión de saturación de vapor a la temperatura del aire [kPa °C⁻¹].

T: temperatura del aire [°C].

Exp[...]: 2,7183 (base del logaritmo natural) elevado a la potencia [...].

Para su aplicación en la ecuación FAO Penman-Monteith, la pendiente de la curva de presión de vapor se calcula usando la temperatura media del aire.

Presión real de vapor (e_a) derivada de datos de humedad relativa

La presión real de vapor se puede también derivar de la humedad relativa, esta va a depender de la disponibilidad de los datos de humedad, para este caso la fórmula de interés es la siguiente:

$$e_a = \frac{HR_{media}}{100} e^{\sigma(T_{media})}$$

Donde

HR_{media} es la humedad relativa media, definida como el promedio entre la HR_{max} y HR_{min} .

Los valores restantes se obtienen por medio de un programa que otorga los datos meteorológicos como lo son, la humedad relativa, velocidad del viento, temperatura máxima y mínima e insolación solar.

Tipo de suelo

El tipo de suelo de la zona donde se encuentra el invernadero es el latosol arcilloso rojizo según (Tencio, 2013). Dentro de sus características se encuentran que son de textura franca a franco arcillosa, de color café muy oscuro con estructura granular, arcillosos con estructura en bloques fuertes y con películas de arcilla. Estos son de color café oscuro a café rojizo oscuro, bastante desarrollados y profundos.

Lámina máxima de riego

Es la máxima lámina de agua que retiene el suelo para satisfacer las necesidades del cultivo, su capacidad de retención se produce hasta la profundidad de raíces del cultivo. Para calcular la lámina máxima se hace a través de la siguiente ecuación:

$$LMA = \frac{cc - PMP}{100} * P_{ap} * P_r$$

Donde:

LMA= lámina máxima (mm).

CC= capacidad de campo (%).

PMP= punto de marchitez permanente (%).

P_{ap} = peso específico aparente (g/cm³).

P_r = profundidad radicular efectiva (cm).

Lámina neta de agua

Es la lámina aprovechable para la planta, la cual se refiere al porcentaje de agotamiento permitido en términos de tensión, el potencial matricial o succión a que debe aplicarse el riego. Esta se calcula con la siguiente ecuación:

$$L_n = LMA * Ag$$

Donde:

L_n = lámina neta (mm).

LMA= lámina máxima (mm).

Ag = agotamiento o aprovechamiento (decimal).

El porcentaje de agotamiento de la humedad, que se refiere a la humedad con

que se agota el agua en el suelo o el aprovechamiento del agua por parte del cultivo hasta que se aplique el próximo riego.

Lámina bruta

En todo método de riego siempre hay pérdidas considerables que se dan desde la derivación del agua hasta el nivel de la parcela, por eso no es recomendable aplicar la lámina neta, sino que hay que aplicar una cantidad mayor a esta y se le conoce como lámina bruta, por lo que este concepto pretende garantizar que el agua que se deriva desde la fuente de abastecimiento, sea la necesaria para satisfacer las necesidades del sistema de riego; por lo que para cada sistema existe una eficiencia asociada como se presenta en el cuadro siguiente:

Método de riego	% Eficiencia
Gravedad	45 – 65
Aspersión	75 – 80
Goteo	85 – 90

Fuente: Valverde (2000)

La fórmula para el cálculo de la lámina bruta se puede observar a continuación:

$$Lb = \frac{Ln}{Ef}$$

Donde:

Lb= lámina bruta (mm).

Ln= lámina neta (mm).

Ef= Eficiencia (porcentajes).

Frecuencia de Riego

Este se puede definir como el periodo de tiempo generalmente en días, que debe transcurrir entre la aplicación de un riego y la necesidad de volver a aplicar otro. En el riego de producción, la dotación de agua debe ser permanente y siempre enfocada a devolver al suelo el agua necesaria para llevarlo de nuevo a capacidad de campo ya que las plantas no responden directamente a la frecuencia de aplicación de agua, sino al potencial de agua en el suelo.

Para obtener la frecuencia de riego se debe tener información de la lámina neta y la evapotranspiración o uso consuntivo del mes crítico. Para calcular la frecuencia de riego se hace mediante la ecuación:

$$Fr = \frac{Ln}{ETr}$$

Donde

Fr= frecuencia de riego (días).

Ln= lámina neta (cm).

Etr= evapotranspiración real diaria.

Tiempo de riego (Tr)

El tiempo de riego se refiere al tiempo que se debe regar el campo con el caudal del emisor elegido, el cual se calcula con la siguiente fórmula:

$$Tr = \frac{Va}{Qtot}$$

Donde:

Tr: tiempo de riego (h)

Va: Volumen de agua necesario para el riego (m³).

Qtot: Caudal total (m³/h).

Volumen de agua necesario en toda la zona, este se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$Va = \frac{Lb}{1000} * A$$

Donde:

Va: volumen de agua (m³).

Lb: lámina bruta (mm).

A: área de riego (m²).

El caudal total se obtiene a partir de la selección del micro aspersor y área de riego.

$$Q_{tot} = \frac{Q_{micro} * \#asp}{1000}$$

Donde:

Q_{tot} : caudal total (m³).

Q_{micro} : caudal del micro aspersor (l/h)

$\#asp$: número de aspersores.

Diseño Hidráulico

Tubería de Conducción

Esta se refiere al medio por el cual el agua va a ser conducida a presión hasta llegar a todos los micro aspersores. Está construida de diversos materiales, como hierro y asbesto, PVC (cloruro de polivinilo), con diámetros que oscilan entre 50 hasta 250 milímetros y longitudes de 6 y 9 m cuando se trata de aluminio. Cuando se va a calcular pérdidas por fricción es importante utilizar el diámetro interno de la tubería.

Una red de tuberías de suministro de agua para riego localizado y para riego por aspersión se compone de los siguientes elementos:

- Tubería Primaria.
- Tubería Secundaria.
- Tubería Terciaria.
- Tubería Porta emisores o lateral

El diámetro de las tuberías depende del caudal que tiene que suministrar, así serán de diámetro menor las tuberías porta emisores y de mucho mayor tamaño la tubería primaria, como se puede observar en el siguiente ejemplo:



Figura 3

En la Figura 1.2 hace referencia al diseño de las redes más frecuente que podemos encontrar en una explotación agrícola, pero no tiene por qué reproducirse tal cual, en una finca, ya que depende de la superficie a regar y del diseño de la red, así podemos encontrar, fincas pequeñas con una tubería primaria sobre la que se instalan directamente las tuberías porta emisores, así como grandes fincas que necesiten un nivel más de tuberías (tuberías cuaternarias) a las que empalmar los porta emisores.

Laterales

Son las tuberías que se ubican dentro del cultivo a lo largo de la hilera de plantas y a una cierta distancia en el caso de doble línea. Normalmente son de 16 y 20 mm en función del caudal a distribuir y la longitud de riego. El material es polietileno de baja densidad También se denominan tuberías porta emisores, los laterales de riego se conectan a las tuberías terciarias a través de conectores iniciales que son dispositivos muy prácticos formados por una espiga (enchufe).

Caudal

El caudal se define como la velocidad por la que pasa un fluido por determinada área la cual se mide en metros cúbicos entre segundo y su fórmula se puede observar a continuación:

$$Q = V * A$$

Dado de que la tubería tiene forma circular el área se expresa como:

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

Despejando el diámetro:

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{V * \pi}}$$

$$\text{Velocidad del líquido: } V = \frac{Q}{\frac{\pi * D^2}{4}}$$

Pérdidas de carga

A medida que el agua dotada de presión circula por las tuberías y atraviesa los distintos elementos del sistema va perdiendo parte de dicha presión debido al rozamiento. A esta pérdida de presión se le denomina pérdida de carga y se expresa en las mismas unidades que la presión, normalmente en metros columna de agua (mca). (Fernández, 2010)

Las pérdidas de carga en el sistema dependen principalmente de los siguientes condicionantes:

- Diámetro interior de la tubería: teniendo en cuenta que a menor diámetro la pérdida de carga es mayor para el mismo caudal circulante.
- Longitud de la tubería: sabiendo que a mayor longitud de la tubería también es mayor la pérdida de carga para el mismo diámetro y caudal circulante.
- Caudal: siendo mayor la pérdida de carga a mayor caudal para el mismo diámetro.
- Tipo de material de la tubería y rugosidad de sus paredes interiores (aluminio, polietileno, fibrocemento, hierro, cloruro de polivinilo, etc.)

Según el Artículo 6.3.4-1 del manual de instalaciones hidráulicas y sanitarias las pérdidas de carga se originan por la fricción en las tuberías de distribución y los ramales de alimentación, por lo que para obtener una mayor precisión se utilizará la fórmula de Darcy-Weisbach.

La fórmula de Darcy-Weisbach se expresa de la siguiente manera:

$$\frac{h_f}{L} = \frac{f V^2}{D 2g}$$

Donde:

D= diámetro interno de la tubería (m)

f= factor de fricción

g= aceleración de la gravedad (m/s²)

hf= pérdidas de energía (m)

L= longitud de la tubería (m)

V= velocidad del líquido en la tubería (m/s)

Para sistemas de agua a presión se puede utilizar el siguiente arreglo de la ecuación de Darcy:

$$\frac{h_f}{L} = f \frac{8 \times 10^9 Q^2}{\pi^2 g D^5}$$

Donde,

Q= caudal en la tubería (L/s)

D= diámetro interno de la tubería (mm)

El coeficiente de fricción f se calcula a partir de la fórmula de Colebrook White

$$f = \frac{1}{\left[-1,8 \log_{10} \left(\frac{6,9}{Re} + \left(\frac{\epsilon/D}{3,7} \right)^{1,11} \right) \right]^2}$$

Donde:

Re: número de Reynolds en el conducto.

ν = viscosidad cinemática del fluido.

D: diámetro de la tubería (mm).

ϵ : rugosidad absoluta de la tubería en (mm), Tabla 48 Valores de Rugosidad absoluta por material.

Esta fórmula es válida si cumple con las siguientes características:

- $4000 < Re < 1 \times 10^8$.
- $1 \times 10^{-6} < \epsilon/D < 0,05$

Número de Reynolds

Este número adimensional hace una relación de fuerzas de inercia a fuerzas viscosas y un parámetro conveniente para predecir si una condición de flujo será laminar o turbulento, el cual se define como:

$$Re = \frac{\rho * V * D}{\mu} = \frac{V * D}{\nu}$$

Donde:

V: velocidad del fluido en (m/s).

D: diámetro interno de la tubería (m).

ρ : densidad del fluido (kg / m³).

μ : viscosidad dinámica (Pas).

ν : viscosidad cinemática que en el caso del agua es de 1×10^{-6} en (m² / s); $\nu = \mu / \rho$; para el caso del agua la viscosidad dinámica es de 0.001.

Para pérdidas en una tubería con derivaciones donde el caudal y el diámetro sea el mismo se usará la el uso del factor de salidas múltiples de Christiansen donde para obtener las pérdidas por una tubería se, multiplica la H_f anteriormente mencionado con la ecuación de Darcy-Weisbach por el factor F propuesto para este fin, la cual se muestra a continuación:

$$h_{fs} = h_f * F$$

Donde:

Hfs: pérdida total a lo largo de la tubería (mca).

F: factor de salida múltiple.

La fórmula para la obtención del factor F en un tramo donde se posea un mismo caudal, diámetro y distancia entre salidas, tomando en cuenta que no hay caudal en la última salida, esta se define como:

$$F_1 = \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2N} + \frac{\sqrt{m-1}}{6N^2} \quad (3)$$

Donde:

F1: factor de salidas múltiples Christiansen.

N: número de salidas.

m: exponente del gasto en la fórmula usada para calcular la pérdida de presión causada por la fricción, Tabla 49 Exponente de gasto m por fórmula.

En la siguiente figura se puede observar el caso anteriormente mencionado:

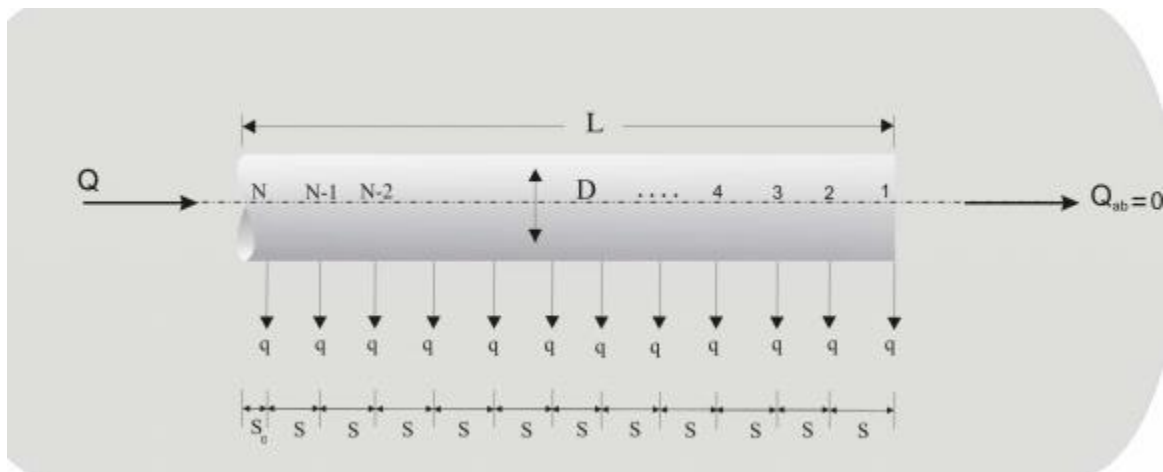


Figura 4, Tubería con salidas múltiples

Pérdidas por accesorios

Los accesorios son todos los elementos para que las tuberías se distribuyan bien en el campo y funcionen correctamente. Se refiere a acoples, codos, tes, válvulas, hidrantes, reducciones, empaques, elevadores, taponés, etc.

Para obtener las pérdidas por la utilización de accesorios como, válvulas, codos, uniones y demás que sean necesarias los factores de K se encuentran en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y cuya fórmula se muestra a continuación:

$$Hf_a = K * \frac{V^2}{2 * g}$$

Donde:

hfs = pérdida por fricción debida al accesorio (m).

K = coeficiente de pérdidas según accesorio.

V = velocidad del fluido en (m/s).

g = valor de la aceleración de la gravedad, 9,81 m/s².

Para accesorios donde no se posee la K se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$K = \left(\frac{L_e}{D}\right) * f_t$$

El factor L_e/D es un valor determinado para cada tipo de accesorio, estos valores están estipulados en una tabla como se muestra en la Tabla 52, y los valores de f_t están estipulados para determinados diámetros, como se muestra en la Tabla 53.

Para perdidas en ampliaciones o contracciones se tiene la siguientes formulas en la figura adjunta:

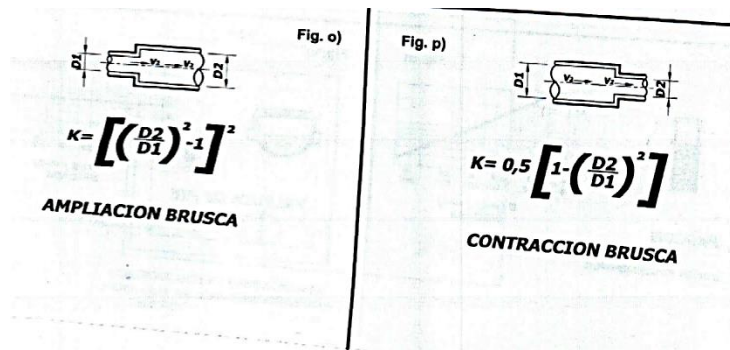


Figura 5

Materiales de los tubos de riego

El material de uso para las tuberías de distribución es el Policloruro de vinilo (PVC) que, utilizado normalmente en las redes primaria y secundaria, puede utilizarse también como tubería terciaria. Se fabrican con dos tipos de uniones, por encolado y por junta elástica.

Las tuberías en donde se encuentran los micro aspersores son de polietileno. Dado que posee las siguientes ventajas:

- Son muy duraderas: Tienen una vida útil de unos 50 años y no necesitan mantenimiento. Además, son muy ligeras, lo que facilita su transporte e instalación.
- Son un buen aislante térmico: lo que evita que el agua se hiele. En caso esto ocurra, sus paredes flexibles pueden expandirse y volver a su lugar una vez el agua vuelve a su estado líquido.
- Son resistentes a agentes químicos (excepto disolventes).
- Son insípidas y no son tóxicas (lo que permite que en ciertos casos puedan transportar agua potable). (GARCÍA, 2017).
- Además de ser fácilmente perforables para colocar los emisores.

Válvulas

El diseño de redes hidráulicas presurizadas para infraestructuras de riego no se limita a la elección óptima del diámetro y material de la red de conducciones, a las estaciones de bombeo o a las dimensiones y cotas de los depósitos. Es necesario garantizar que los sistemas van a funcionar bajo cualquier circunstancia y en las condiciones específicas que se requieran. Para lograrlo, se precisan dispositivos precisos y eficientes, que permiten regular y controlar las redes de distribución (Regaber, 2018).

Algunas de los tipos de válvulas hidráulicas principales son:

- Válvulas de control direccional

Se utiliza para controlar y cambiar la dirección del flujo de fluido en el sistema hidráulico llama válvula de control direccional, incluyendo la válvula de retención, válvula de llenado previo, válvula direccional solenoide hidráulico, válvulas direccionales de carrete hidráulicas, la válvula de cierre, etc.

- Válvulas de control de presión: Se utiliza para controlar y ajustar la presión de fluido en el sistema hidráulico.
- Flujo: Se utiliza para controlar y ajustar la velocidad de flujo de fluido. Se denominan válvulas de control de flujo.

Las válvulas de control de flujo o limitadoras de caudal, mantienen el caudal constante aguas abajo o después del dispositivo constante a un valor nominal, cuando el caudal que llega al dispositivo es menor que el nominal, deja pasar mas caudal por el mismo, de otra manera si el caudal es mayor que el valor nominal este se cierra parcialmente. El principio de estos funciona de manera diferente a los limitadores de presión ya que estos actúan en función de la diferencia entre la entrada y salida del limitador y los limitadores de presión actúan en función a la presión ya sea ala entrada del limitador o la salida.

Existen varios tipos de limitadores de caudal como lo son: diafragma, muelle y válvulas hidráulicas.

Electroválvulas

Las electroválvulas son dispositivos que responden a pulsos eléctricos, donde por medio de una corriente que circula a través de un solenoide es posible abrir o cerrar la válvula controlando, de esta forma, el flujo de fluidos. Al circular una corriente por el solenoide se genera un campo magnético que atrae el núcleo móvil y al finalizar el efecto del campo magnético, el núcleo vuelve a su posición, en la mayoría de los casos, por efecto de un resorte (ilitia.com.ar, 2021).

Tipos de electroválvulas

Acción directa: En esta familia de válvulas el flujo electromagnético actúa directamente en el émbolo que cierra o abre el orificio permitiendo que el líquido pase o pare (presión mínima requerida = 0 bar), como se puede ver en la

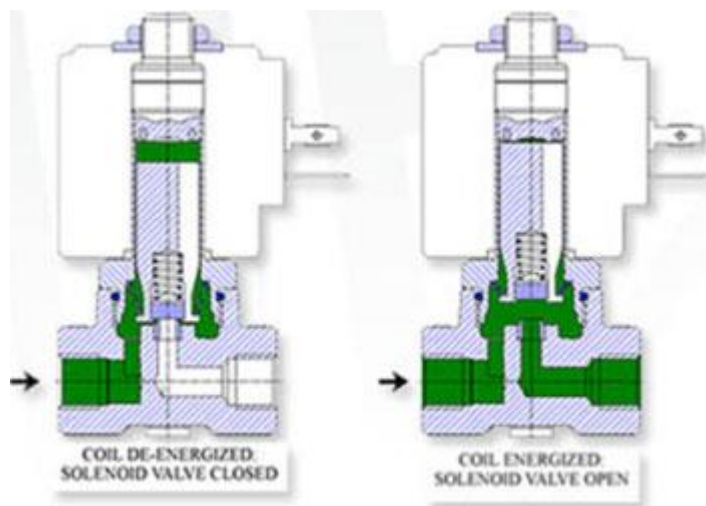


Figura 6

Acción indirecta: El orificio principal es abierto por el desequilibrio entre las presiones en las superficies del diafragma superior e inferior (o del pistón). Cuando se energiza la bobina el movimiento del émbolo causa la apertura del orificio de piloto y descarga el compartimiento superior del diafragma: el desequilibrio de la presión mueve el diafragma que abre el orificio principal (la presión mínima requerida es de 0.2 bar).

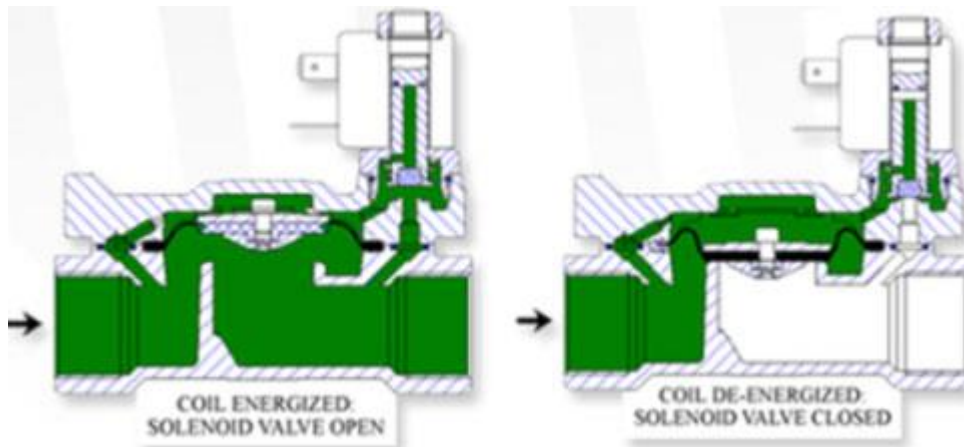


Figura 7

Acción mixta: En esta familia de válvulas la abertura del orificio principal es efectuada por el desequilibrio de presiones entre el cuerpo superior y el inferior combinando con la acción directa del émbolo que está fijo al diafragma mediante un resorte (presión mínima requerida = 0 barras)

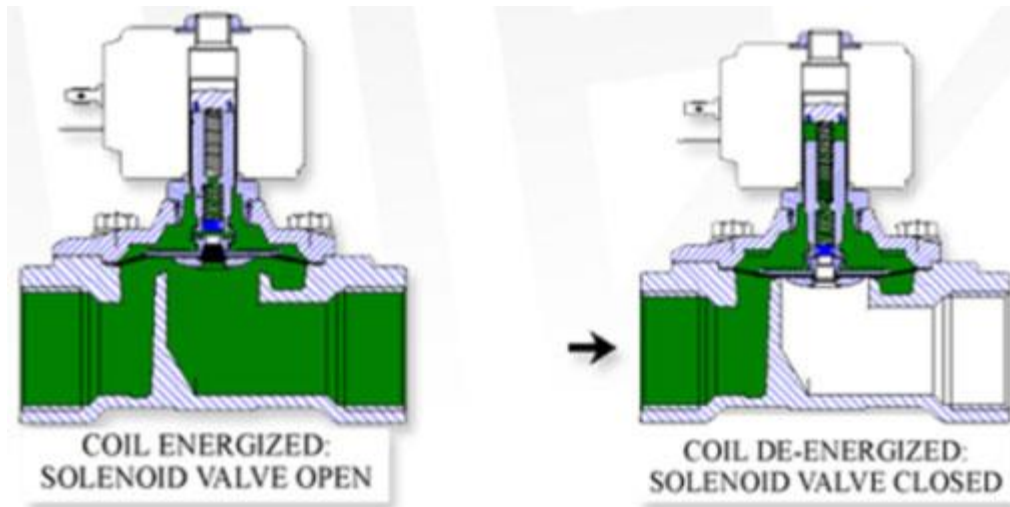


Figura 8

Las electro válvulas poseen diferentes números de vías las cuales se dividen en dos que son:

Las válvulas de 2 vías, son las válvulas más conocidas ya que tienen una entrada y una salida.

Las válvulas de 3 vías tienen una entrada, una salida y un escape, tal como se muestra en la siguiente figura:

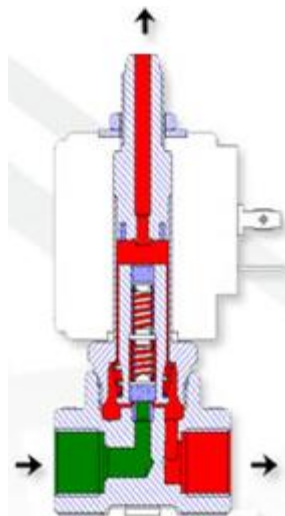


Figura 9

Las configuraciones de iniciales de las electro válvulas se divide en dos una de ellas es la normalmente cerrada que no dejan pasar el fluido cuando están en reposo y cuando son energizadas se abren dejando pasar el fluido y las normalmente abiertas dejan pasar el fluido cuando están en reposo y al momento de energizarlas se cierran impidiendo el paso.

Filtrado

El filtrado es un mecanismo de separación de partículas de diámetros obstructivos para el sistema de riego. Uno de los principales problemas que se presenta en los sistemas de riego, es la obstrucción que puede presentarse en las líneas de tuberías y los emisores; estos son determinados por dos unidades las cuales son los Mesh y las micras. Los Mesh hacen referencia al número de hilos por pulgada en una malla y las micras al micraje de la malla, es decir, el tamaño mínimo de partícula retenida por el filtro, por lo que las partículas menores atravesarán el filtro y las mayores serán todas retenidas.

El tipo de filtro que se coloque va a depender de la calidad del agua y necesidad el micro aspersor. Existen diferentes tipos de filtros:

- Filtro de anillos

De acuerdo con Betrisa (2010), es un tipo de filtro que realiza filtración en profundidad y cuyo elemento filtrante está compuesto de una pila de anillos ranurados o con superficie rugosa, entre cuyas caras quedan retenidas las partículas contaminantes. Tienen un funcionamiento especialmente positivo frente a algas y material orgánico.

- Filtro de malla

Aunado a lo anterior Betrisa (2010), determina que es un tipo de filtro que ofrece filtración en superficie, es decir, las partículas contaminantes quedan retenidas en la superficie de la malla, que es el elemento que realiza propiamente la filtración. Para aguas con sólidos en

suspensión, como las procedentes de pozos, por ejemplo, estos presentan una gran eficiencia de filtrado.

Sistemas de riego automatizado.

La automatización es el conjunto de elementos o procesos informáticos, mecánicos y electromecánicos que operan con mínima o nula intervención del ser humano. Estos normalmente se utilizan para optimizar y mejorar el funcionamiento de una planta industrial, pero igualmente puede utilizarse la automatización en este caso en un sistema de riego.

En el caso de sistemas de riego automatizados implica un ahorro del consumo de agua y de energía ya que con la utilización de sensores y controladores se delimita la cantidad de agua que requiere el cultivo, algunos de sus componentes implicados son los siguientes:

Controlador de procesos

El controlador/a de procesos se encarga de organizar y controlar las actividades propias de una planta de producción, valorando las diferentes fases del proceso productivo, proponiendo la optimización de procedimientos de fabricación y supervisando la regularidad y la mejora de la

calidad, así como la mejora de la seguridad y del respeto por el medio ambiente, para controlar estos procesos se tiene el dispositivo denominado PLC ((Programmable Logic Controller) o controlador lógico programable.

Controlador lógico programable o PLC

Un controlador lógico programable, más conocido por sus siglas en inglés PLC (Programmable Logic Controller), se trata de una computadora, utilizada en la ingeniería automática o de automatización industrial, para automatizar procesos electromecánicos, tales como el control de la maquinaria de la fábrica en líneas de montaje o atracciones mecánicas, en este caso el tiempo de riego.

Funcionamiento

Un PLC funciona de manera cíclica por medio del programa previamente cargado, este proceso sigue la siguiente estructura:

1. Cada ciclo comienza con un trabajo interno de mantenimiento del PLC como el control de memoria, diagnóstico etc. Esta parte del ciclo se ejecuta muy rápidamente de modo que el usuario no lo perciba.
2. El siguiente paso es la actualización de las entradas. Las condiciones de la entrada de los SMs se leen y convierten en señales binarias o digitales. Estas señales se envían a la CPU y se guardan en los datos de la memoria.
3. Después, la CPU ejecuta el programa del usuario, el cual ha sido cargado secuencialmente en la memoria (cada instrucción individualmente). Durante la ejecución del programa se generan nuevas señales de salida.

4. El último paso es la actualización de las salidas. Tras la ejecución de la última parte del programa, las señales de salida (binaria, digital o analógica) se envían a la SM desde los datos de la memoria. Estas señales son entonces convertidas en las señales apropiadas para las señales de los actuadores. Al final de cada ciclo el PLC comienza un ciclo nuevo.

Software de los controladores

Los lenguajes de programación son necesarios para la comunicación entre el usuario (sea programador u operario de la máquina o proceso donde se encuentre el PLC) y el PLC. La interacción que tiene el usuario con el PLC se puede realizar por medio de la utilización de un cargador de programa (loader Program) también reconocida como consola de programación o por medio de un PC (computador Personal).

La clasificación de los lenguajes de programación para PLC es de dos tipos, visuales y escritos. Los visuales admiten estructurar el programa por medio de símbolos gráficos, similares a los que se han venido utilizando para describir los sistemas de automatización, planos esquemáticos y diagramas de bloques. Los escritos son listados de sentencias que describen las funciones a ejecutar, estos dos tipos se pueden observar en la Figura 10 (Virtual, 2005).

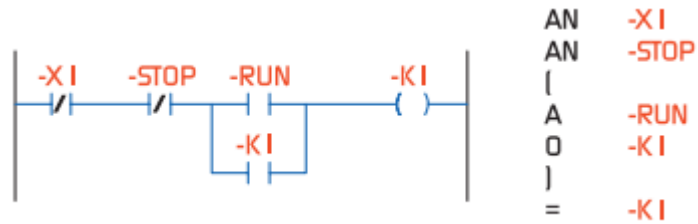


Figura 10, (Virtual, 2005)

Operaciones para la programación

En el caso del PLC utilizado este se programará por medio de un diagrama de contactos los cuales representarán el funcionamiento deseado del sistema, unas de las operaciones más utilizadas para la programación son las siguientes:

Conjunción (AND)

La operación lógica AND o conjunción, entrega como resultado un “Verdadero” (V) si todas las entradas son V y un “Falso” (F) si este tiene una entrada con una F, esta se aplica en situaciones en las que se requiere realizar una acción si y sólo sí se cumplen un determinado número de condiciones, para este fin se tiene la siguiente tabla donde se expresan las distintas combinaciones de entradas y su resultado.

Tabla 2

AND		
Entradas		Salidas
A	B	Y
F	F	F
F	V	F
V	F	F
V	V	V

En lenguaje de contactos se realiza disponiendo los contactos en serie, como se puede ver a continuación:

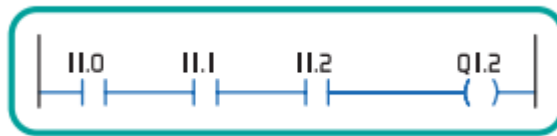


Figura 11

En este caso para que Q1,2 sea activada es necesario que todas las I estén en una condición de V.

Disyunción (OR)

Para esta operación la tabla de comportamiento sería la siguiente:

Tabla 3

OR		
Entradas		Salidas
A	B	Y
F	F	F
F	V	V
V	F	V
V	V	V

La operación lógica OR entrega como resultado V siempre que alguna de las entradas sea V, lo que se logra poniendo los contactos en paralelo como se puede ver en la Figura 12



Figura 12

Inversión (NOT)

Su tabla característica es la siguiente:

Tabla 4

NOT	
Entradas	Salidas
A	Y
F	v
V	F

La operación lógica NOT entrega como resultado el estado contrario al presente en la entrada, esto se logra con el uso de Contactos Normal Cerrado.



Figura 13

Exclusiva (EXOR)

La EXOR es V si alguna de las entradas, pero nunca ambas, es V también; se puede decir que es V si y sólo si las entradas son distintas. En la Tabla 5 se observa TIR su comportamiento.

Tabla 6

EXOR		
Entradas		Salidas
A	B	Y
F	F	F
F	V	V
V	F	V
V	V	F

Su ejecución se muestra continuación:

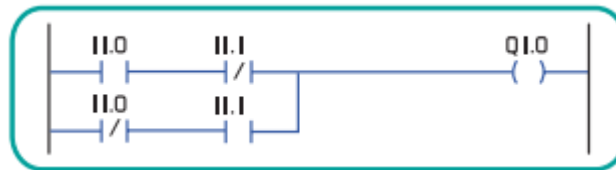


Figura 14

Relé auto enclavador

Una señal en la entrada S activa la salida Q. Una señal en la entrada R desactiva la salida Q, como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, esto nos permite utilizar esta función para dos pulsadores tanto para el de paro como para el de inicio o encendido. En la siguiente tabla se explica cada variable:

Tabla 7

Conexión	Descripción
Entrada S	La salida Q se activa con una señal en la entrada S (Set).
Entrada R	La salida Q se desactiva con una señal en la entrada R (Reset). La salida Q se desactiva si están activadas tanto S como R (la desactivación tiene prioridad sobre la activación).
Parámetros	Remanencia activada (ON) = el estado se guarda de forma remanente.
Salida Q	Q se activa con una señal en la entrada S y permanece activada hasta que es desactivada con una señal en la entrada R.



Figura 15

La tabla que describe las posibles combinaciones se muestra a continuación:

Tabla 8

S	R	Q	Observación
0	0	x	El estado no cambia
0	1	0	Desactivación
1	0	1	Activación
1	1	0	Desactivación

Retardo a la desconexión

La salida de retardo a la desconexión se desactiva tras haber transcurrido un tiempo configurado, cada una de las partes que lo conforman se pueden ver en la siguiente tabla:

Tabla 9

Conexión	Descripción
Entrada Trg	Un flanco descendente (transición de 1 a 0) en la entrada Trg (Trigger) inicia el tiempo de retardo a la desconexión.
Entrada R	Por medio de la entrada R (Reset), el tiempo de retardo a la desconexión y la salida se ponen a 0. Reset tiene prioridad sobre Trg.
Parámetro	T: la salida se desactiva una vez transcurrido el tiempo de retardo T (transición de la señal de salida de 1 a 0). Remanencia activada = el estado se guarda de forma remanente.
Salida Q	Q se activa con un disparo en la entrada Trg y permanece activada hasta que haya transcurrido el tiempo T.

La función se puede determinar por la siguiente figura:

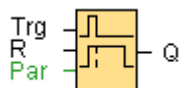


Figura 16

Tablero para el PLC

Para la instalación de un PLC se necesita una serie de componentes los cuales son:

- transformadores: para reducir los voltajes de alimentación de CA (corriente alterna) a niveles más bajos, de ser necesarios
- Contactos de potencia: para activar / desactivar manualmente la alimentación de la máquina con los botones de parada de emergencia
- Terminales: para conectar dispositivos
- Fusibles o disyuntores: hará que falle el poder si se consume demasiada corriente
- Toma de tierra: para proporcionar una ruta para que la corriente fluya cuando hay una falla eléctrica
- Recinto: Para proteger el equipo, y los usuarios de contacto accidental.

Un sistema de control de un panel de PLC normalmente usará CA y CC (corriente continua) a diferentes niveles de voltaje. Los armarios de control a menudo se suministran con CA monofásica a 220/440 / 550V, o dos fases de CA en 220 / 440V AC, o AC trifásica en 330 / 550V. Esta potencia se debe bajar a un nivel de voltaje más bajo para los controles y fuentes de alimentación de CC.

Indicador

Financiero

En este proyecto se va a utilizar indicadores financieros sencillos para clarificar la factibilidad económica que presenta este proyecto usando la fórmula R.O.I este valor indica la ganancia por cada valor de unidad monetaria del proyecto.

El retorno de la inversión (R.O.I) se calculará por medio de la siguiente fórmula:

$$R.O.I = \frac{\textit{Ahorro generado} - \textit{Costo de inversión}}{\textit{Costo de inversión}}$$

Y el periodo de tiempo de recuperación de la inversión inicial, se calculará por medio de la siguiente fórmula:

$$\textit{Periodo de recuperación} = \frac{\textit{Costo de inversión}}{\textit{Ahorro generado}}$$

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO.

Enfoque de la investigación

En el presente trabajo se desarrollará un enfoque cuantitativo como lo indica el autor (Hernández, 2014), ya que se examinarán los hechos y luego se evaluará de manera teórica permitiendo así tanto la recopilación de los factores implicados para el diseño como el análisis de estos mismos como la interpretación y puesta en práctica de los resultados obtenidos. Por lo que se establecerá un enfoque no experimental transversal dando así un orden secuencial de los pasos a seguir para que se puedan obtener de una manera ordenada y eficaz los objetivos planteados.

Método de la investigación

Para llevar a cabo el inicio del diseño se utilizará un método no probabilístico dado que se obtendrá la información de las condiciones donde se encuentra el invernadero consiguiendo así datos como el área, altura, fuente de abastecimiento de agua ya sea por tanque o bomba hidráulica, tipo de cultivo plantado entre otras variables de interés, esto se hará haciendo visitas al lugar, así como de entrevistas al personal de la empresa, los datos meteorológicos de la zona se obtendrán por medio de un programa para este fin, se realizará una memoria de cálculo en el programa Excel para así determinar los datos para el diseño hidráulico.

Fuentes de información

Para la elaboración del presente trabajo se utilizaron fuentes como: software de diseño agrónomo, conocimiento del personal e ingeniero encargado del invernadero, analizar datos recopilados de tesis de referencia, artículos, páginas web, así como cualquier tipo de información que fuera de utilidad para la realización de este proyecto.

- Datos existentes sobre áreas, bomba hidráulica, tipo de cultivo, tanques de agua estos otorgados por la empresa.
- Base de datos meteorológicos de la Nasa.
- Guía para la determinación de requerimientos de agua de los cultivos.

- Libros sobre diseño agrónomo.
- Fichas técnicas de proveedores de controladores.

Variables o unidades de análisis

Objetivo: Requerimientos hídricos del cultivo.

Variable	Indicador	Definición Conceptual	Definición Operacional	Definición Instrumental
Evapotranspiración de referencia (ET _o)	mm/día	Tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia (FAO).	Utilizando los datos meteorológicos y de la zona introduciendo los en un software	Programa digital llamado Cropwat versión 8.0
Evapotranspiración del Cultivo (ET _c)	mm/día	se refiere a la diferencia de evaporación y transpiración entre el cultivo de referencia y el de campo.		
coeficiente del cultivo(k _c)	Adimensional	Relación que existe entre la Evapotranspiración real (ET _c) de cada cultivo específico y la evapotranspiración de referencia ET _o	Dato obtenido de tablas de la Fao	Libro de la Fao
Temperatura	°C	Magnitud escalar que mide la cantidad de energía térmica que tiene un cuerpo.	Datos obtenidos de un software que otorga datos meteorológicos de una zona de referencia	Software De la NASA llamado "Power Data Access"
Humedad Relativa	Porcentaje (%)	Relación entre cantidad de vapor de agua contenida en el aire (humedad absoluta) y la máxima cantidad que el aire sería capaz de contener a esa temperatura		
Velocidad	Km/día	Expresa la relación entre el espacio recorrido por un objeto en un tiempo determinado y su dirección		

Insolación	horas	Suma de intervalos de tiempo durante los cuales la radiación solar directa (normal al sol) supera el umbral de 120 W/m ²		
Precipitación	mm	Caída de agua desde la atmósfera hacia la superficie terrestre		

Objetivo: Diseño hidráulico.

Variable	Indicador	Definición Conceptual	Definición Operacional	Definición Instrumental
Caudal	L/h	Volumen de agua que atraviesa una superficie en un tiempo determinado.	Utilizando los datos de la cantidad de agua necesaria para el cultivo	Memoria de Calculo en Excel 2019
Tiempo	Segundos, horas, días	Período determinado durante el que se realiza una acción o se desarrolla un acontecimiento.	Pormedio de los datos ya existentes como el caudal, utilizando fórmulas para ello	
Distancia	mm, m, Km	Espacio, considerado desde una perspectiva lineal, entre dos objetos	Utilización de una cinta métrica.	Cinta metrica
Pérdidas de Carga	m	Pérdida de presión por efecto de la tubería y accesorios	Utilización de memoria de calculo	Memoria de cálculo en Excel 2019
Presión	Kpa, PSI	Fuerza que ejerce un gas, líquido o un sólido sobre una superficie.		

Instrumentos

- Programa Corpwat versión 8.0 para computadora de 64bits.
- Programa web Power Data Access.
- Programa Excel 2019.
- Cinta métrica.
- Programa web Google Earth.

- AutoCAD 2021+
- Logo version 8.3
- Programa web

Proceso para la recolección y análisis de datos

Se iniciará la recopilación de datos haciendo visitas a la empresa, entrevistando tanto al dueño como a sus empleados de las dimensiones del invernadero, tanques disponibles y bomba disponible, tipo de cultivo y tubería existente.

Una vez conseguidos todos los datos necesarios se introducirán de primera instancia los datos para el cálculo de la evapotranspiración del cultivo en un software específico, posteriormente con las necesidades de agua diarias de la planta se procederá a realizar en una memoria de cálculo en la cual se determine el caudal de cada micro aspersor de esta manera se buscará en manuales de fabricantes un micro aspersor que cumpla con lo requerido, con el caudal del aspersor seleccionado se determinará el diámetro de la tubería, pérdidas de carga para de esta manera obtener la presión necesaria para que funcione correctamente y contrastarla con la presión otorgada por el tanque observando de esta manera si cumple con los requerimientos de lo contrario se planteará la utilización de una bomba hidráulica. La distribución de la tubería se realizará con los datos obtenidos de las entrevistas anteriormente mencionadas.

Ya diseñado o re diseñado el sistema hidráulico se procederá a la automatización del mismo utilizando un PLC de marca Siemens en el que se realizará un programa de riego por tiempo en el software (programa digital) del fabricante.

Ya automatizado el diseño propuesto se realizará una valoración financiera del proyecto que definirá la viabilidad económica del proyecto, calculando la tasa interna de retorno (TIR).

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS

Desarrollo

De la investigación realizada en el marco referencial para obtener el caudal por día y la frecuencia de riego se utilizó la herramienta anteriormente mencionada la cual es Cropwat versión 8.0, la cual necesita de datos para poder otorgar los valores requeridos. Los requisitos de los datos meteorológicos se obtuvieron de la página web de la Nasa denominada Power Data Access ya que el Instituto Meteorológico Nacional o INM no cuenta con un equipo de medición en la zona.

Para obtener los datos del programa se ingresó la latitud y longitud que corresponden a la ubicación del invernadero.

Además, del periodo el cual se escogió desde el 1 de enero del 2020 al 31 de diciembre de ese mismo año por lo que por medio de una memoria de cálculo se realizó un promedio de todos los días de cada uno de los parámetros en cada mes, a continuación, en la Tabla 10 se puede observar los datos obtenidos.

Tabla 10 Datos meteorológicos

Mes	Temperatura Minima °C	Temperatura Maxima °C	Humedad %	Viento velocidad KM/dia	Viento velocidad m/s	Insolación	Precipitación mm
1	18,43	24,02	87,53	108,61	1,26	4,24	4,94
2	18,10	24,72	84,05	133,00	1,54	5,36	2,19
3	17,52	26,50	75,57	121,52	1,41	5,87	0,91
4	18,23	26,85	79,54	79,20	0,92	4,66	7,48
5	19,54	25,71	87,01	62,79	0,73	3,82	9,12
6	18,81	24,60	89,81	60,77	0,70	3,93	13,33
7	18,37	24,18	88,75	61,85	0,72	4,31	7,82
8	18,64	24,35	89,44	61,04	0,71	4,17	9,42
9	18,58	24,33	89,79	52,39	0,61	4,29	10,56
10	18,93	24,02	91,44	58,72	0,68	3,68	13,19
11	18,38	23,72	91,74	70,82	0,82	3,68	14,82
12	17,72	23,45	88,45	86,86	1,01	10,83	4,04

Con los datos anteriores se introdujeron en el programa Cropwat como se puede observar en la Tabla 11.

Tabla 11 Evapotranspiración de referencia

The screenshot shows the 'ETo Penman-Monteith Mensual' software window. The input fields are: País: Costa rica, Estación: Verano, Altitud: 1042 m., Latitud: 9.00 °N, and Longitud: 8.00 °E. Below the inputs is a table with 8 columns: Mes, Temp Min (°C), Temp Max (°C), Humedad (%), Viento (km/día), Insolación (horas), Rad (MJ/m²/día), and ETo (mm/día). The table lists monthly data from Enero to Diciembre, with a final row for the average (Promedio).

Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento km/día	Insolación horas	Rad MJ/m²/día	ETo mm/día
Enero	18.4	24.0	88	109	4.2	14.1	2.65
Febrero	18.1	24.7	84	133	5.4	16.7	3.19
Marzo	17.5	26.5	76	122	5.9	18.3	3.74
Abril	18.2	26.9	80	79	4.7	16.7	3.41
Mayo	19.5	25.7	87	63	3.8	15.1	3.05
Junio	18.8	24.6	90	61	3.9	14.9	2.93
Julio	18.4	24.2	89	62	4.3	15.6	2.99
Agosto	18.6	24.3	89	61	4.2	15.7	3.02
Septiembre	18.6	24.3	90	52	4.3	15.8	3.04
Octubre	18.9	24.0	91	59	3.7	14.3	2.74
Noviembre	18.4	23.7	92	71	3.7	13.4	2.52
Diciembre	17.7	23.4	88	87	4.0	13.4	2.49
Promedio	18.4	24.7	87	80	4.3	15.3	2.98

Para la obtención de los valores de los Kc se usó la Tabla 45, para este caso en un invernadero que su cultivo es de apio el cual presenta los siguientes valores:

Tabla 12 Valores de Kc

Kc inicial	Kc medio	Kc final	Altura Máx. Cultivo m
0.7	1.05	1	0.6

Los valores anteriormente mencionados se introdujeron como se puede observar en la Tabla 15.

Los días de crecimiento de la planta se tomaron de la Tabla 46 y se introdujeron en el sistema en el cual los datos los contiene la Tabla 15, los cuales para el apio presentan el siguiente tipo de comportamiento se presentan en el siguiente cuadro:

Tabla 13 Periodo de crecimiento de la planta

Inic Lini	Des (Ldes)	Med (Lmed)	Final (Lfin)	Total
25	40	45	15	125

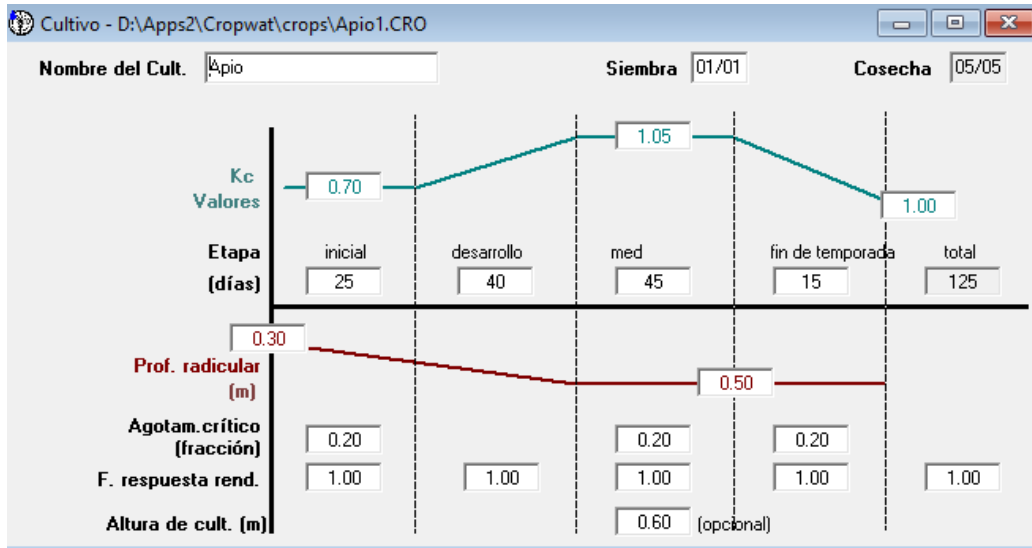
La profundidad radicular y la fracción de agotamiento se extrae de la Tabla 47 y los datos de la misma manera son colocados en la Tabla 15, los cuales se muestran a continuación:

Tabla 14 Profundidad radicular y fracción de agotamiento

Profundidad radicular máxima (m)		Fracción de agotamiento (para ET _p 5 mm día ⁻¹)
Inicial	0,3	0,2

Se utilizó un valor de Ky de 1 como lo indica el libro del estudio FAO Riego y drenaje para casos en donde no se posea un Ky de un cultivo. Los datos se presentan en la Tabla 15. Se escogió el periodo que va desde el 1/05/2020 al 05/05/2020, dado que el mes de enero es el que posee menos precipitación si se entregara un dato con mayor fidelidad de las necesidades del cultivo, la finalización del mismo el software otorga el periodo de cosecha con los valores de la Tabla 13.

Tabla 15 Datos del cultivo



Para el tipo de suelo del lugar se utilizó el tipo de sustrato el cual en el informe (Tencio, 2013), se indica el tipo de suelo, con este dato se procedió al lugar a tomar fotos del sustrato para de esta manera corroborar el tipo de suelo, la imagen del mismo se muestra a continuación:



Figura 17

Los datos de las características del mismo se extrajeron del propio software el cual es Suelo Arcilloso Rojo o Red Loamy soil según la tipografía promedio del suelo en esta zona. los datos anteriormente referenciados se pueden observar en la Tabla 16.

Tabla 16 Características del suelo

Nombre del suelo		RED LOAMY
Datos generales de suelo		
Humedad de suelo disponible total (CC-PMP)	180.0	mm/metro
Tasa maxima de infiltración de la precipitación	30	mm/día
Profundidad radicular máxima	900	centímetros
Agotamiento inicial de hum. de suelo (como % de ADT)	0	%
Humedad de suelo inicialmente disponible	180.0	mm/metro

Puesto todos los datos anteriores en el software se obtuvo de la Tabla 17 con los requerimientos del cultivo por década y día, en el cual se eliminó la sección de precipitación dado que se desea obtener un valor más preciso de las necesidades obviando factores que ayudan al riego como lo es la precipitación.

Tabla 17 Requerimiento hídrico del cultivo

Requerimiento de Agua del Cultivo							
Estación ETo			Verano		Cultivo		Apio
Est. de lluvia			00Verano		Fecha de siembra		01/01
Mes	Decada	Etap	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req.Riego
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Ene	1	Inic	0.70	1.81	18.1	0.0	18.1
Ene	2	Inic	0.70	1.85	18.5	0.0	18.5
Ene	3	Des	0.71	2.02	22.2	0.0	22.2
Feb	1	Des	0.79	2.37	23.7	0.0	23.7
Feb	2	Des	0.86	2.75	27.5	0.0	27.5
Feb	3	Des	0.93	3.13	25.1	0.0	25.1
Mar	1	Med	0.99	3.52	35.2	0.0	35.2
Mar	2	Med	1.00	3.74	37.4	0.0	37.4
Mar	3	Med	1.00	3.63	39.9	0.0	39.9
Abr	1	Med	1.00	3.52	35.2	0.0	35.2
Abr	2	Med	1.00	3.41	34.1	0.0	34.1
Abr	3	Fin	0.97	3.20	32.0	0.0	32.0
May	1	Fin	0.94	2.97	14.9	0.0	14.9

Para el cálculo del intervalo de cada riego se obtuvo del software, sacando un promedio del intervalo de días de riego para facilitar la programación del tiempo de riego, dicha tabla se muestra a continuación:

Tabla 18 Periodo de Riego

Fecha	Días acumulados	Intervalo de días	Promedio de días	Etapa
1-ene	-	7,00	7	Ini
7-ene	7,00	7,00		
14-ene	14,00	8,00		
22-ene	22,00	7,00	6	Des
29-ene	29,00	7,00		
5-feb	36,00	7,00		
12-feb	43,00	6,00		
18-feb	49,00	6,00		
24-feb	55,00	6,00		
2-mar	61,00	6,00	6	Med
8-mar	67,00	5,00		
13-mar	72,00	5,00		
18-mar	77,00	5,00		
23-mar	82,00	5,00		
28-mar	87,00	6,00		
3-abr	93,00	6,00		
9-abr	99,00	6,00	6	Fin
15-abr	105,00	6,00		
21-abr	111,00	6,00		
27-abr	117,00	6,00		
3-may	123,00	6,00		
5-may	Fin			

De los datos obtenidos del programa se realizó una tabla para obtener el promedio por etapa de la misma, dichos datos se encuentran en la Tabla 19.

Tabla 19 Lamina bruta por etapa.

Etapa	Lb	Promedio
Ini	18,1	19,33
	18,3	
	21,6	
Des	20,2	24,17
	22,7	
	24,8	
	23,6	
	25,8	
	27,9	
Med	30,1	28,16
	26,1	
	26,7	
	26,2	
	25,9	
	30,7	
	30,2	
	29,4	
Fin	29	27,7
	27,5	
	26,5	

Selección del micro aspersor

Para obtener el caudal se introdujo los datos anteriores en una memoria de cálculo en Excel y se hizo una conversión de los requerimientos del cultivo de mm/día a $m^3/día$, la fórmula de conversión mencionada se observa a continuación:

Dado que se ocupa transitar por la zona se restó 1m de cada extremo. Además, de aplicar una conversión de unidades para utilizar la fórmula anterior obteniendo las siguientes dimensiones del invernadero:

Tabla 20 Dimensiones del Invernadero

	Ancho(48m)	Largo(54m)	Area riego	Hectaria
Area original	46	52	2392	0,239
Areas de cultivo	8	52	399	0,040

Los datos anteriores se sacaron de los siguientes planos

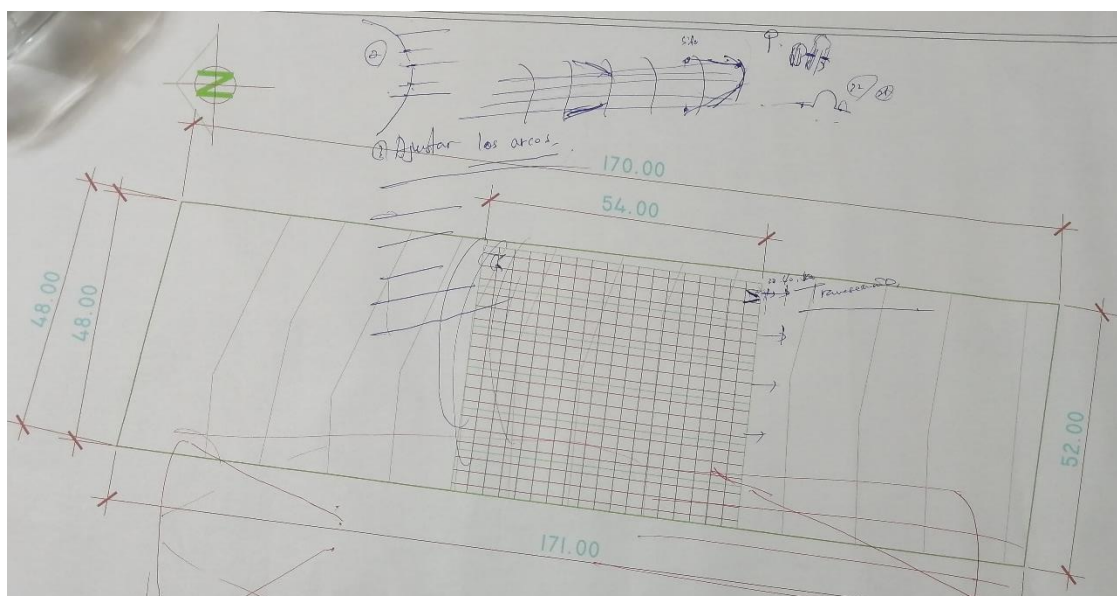


Figura 18

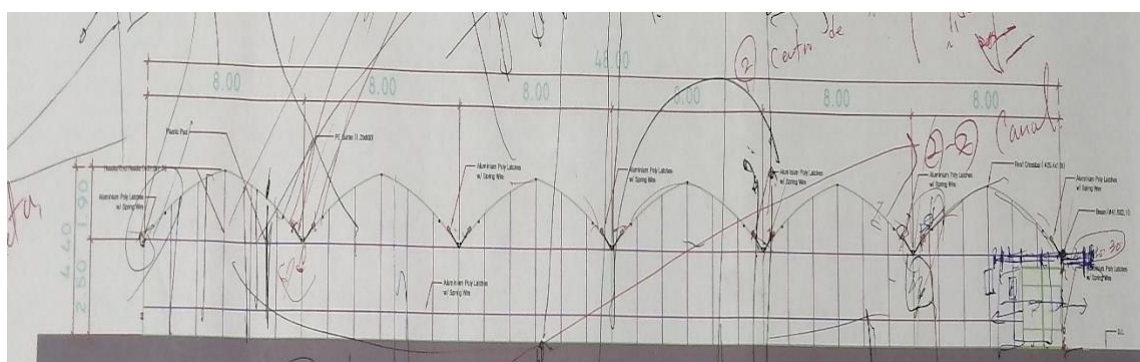


Figura 19

Dado que se desea aprovechar el sistema hidráulico antiguo se hizo una valoración del sistema con las condiciones actuales, por medio de una memoria de cálculo esto tomando en

cuenta la suma del caudal de todos los micro aspersores usados y una ruta crítica la cual se muestra en la siguiente figura:



Figura 20, distribución y ruta crítica de la tubería

Con los datos del área por zona de cultivo anteriores se calculó el caudal por micro aspersor por etapa donde se utilizó la donde se encuentran la conversión de mm/día a m³/día, esto se puede ver a continuación:

Tabla 21 Caudales por periodo de crecimiento

Mes	Etapa	Requerimiento Hidrico(Er) mm/dia	Demanda m3/dia	Caudal por micro aspensor l/h	Caudal promedio por etapa l/h
Ene	Inic	1,81	0,72	30	30
Ene	Inic	1,85	0,74	31	
Ene	Des	2,02	0,81	34	43
Feb	Des	2,37	0,94	39	
Feb	Des	2,75	1,10	46	
Feb	Des	3,13	1,25	52	59
Mar	Med	3,52	1,40	58	
Mar	Med	3,74	1,49	62	
Mar	Med	3,63	1,45	60	
Abr	Med	3,52	1,40	58	51
Abr	Med	3,41	1,36	57	
Abr	Fin	3,2	1,28	53	
May	Fin	2,97	1,18	49	

Donde se tomó el caudal máximo el cual es de 62 L/h para de esta manera seleccionar el micro aspensor, el cual se puede observar en los anexos en la siguiente tabla se observa los datos necesarios para el cálculo hidráulico:

Tabla 22 Micro aspensor seleccionado

Modelo	Caudal l/h	Constante K	Diámetro de mojado (m) a 50cm	Presión de operación (bar)
070	70	70	7	1,5 a 4

Con el diámetro de cada aspensor se calculó la cantidad de micro aspersores por lateral el cual se muestra a continuación:

$$\text{numero de microaspersores por lateral} = \frac{52}{7} = 7$$

El total de micro aspersores se calculó multiplicando el número de aspersores por los laterales dados que el invernadero se divide en 6 laterales:

$$Total = 7 * 6 = 42$$

Tiempo de riego

En la Tabla 23 se muestran los datos obtenidos para el tiempo de riego.

Tabla 23 Tiempo de riego por etapa.

Etapa		
Ini	Caudal Total del area m3/h	3
	Volumen por etapa m3	8
	Tiempo de riego en horas	2,6
Des	Caudal Total del area m3/h	3
	Volumen por etapa m3	10
	Tiempo de riego en minutos	3,3
Med	Caudal Total del area m3/h	3
	Volumen por etapa m3	11
	Tiempo de riego en minutos	3,8
Fin	Caudal Total del area m3/h	3
	Volumen por etapa m3	11
	Tiempo de riego en minutos	3,8

Pérdidas por fricción

Para el cálculo de las pérdidas del sistema se utilizó un caudal total el cual se supuso como si el sistema estuviera diseñado, a parte que la tubería existente los únicos datos obtenidos de la misma son la marca y el diámetro nominal por lo que el espesor o sdr se supuso en la condición más crítica la cual es con un sdr de 13,5, que se obtuvo de la Tabla 57.

El lugar cuenta con un tanque marca Eco Tank de 10.00L con una altura 2,82 m en el cual según entrevistas al dueño del lugar éste siempre permanece lleno dado que se repone más rápido de lo que se vacía, aunque se tomó un factor de seguridad de 20%. La altura se obtuvo por medio del programa Google Earth donde el punto de referencia es el inicio del invernadero, los valores de dichas alturas fueron de 1429 msnm para la ubicación del tanque y 1415 para la

ubicación superior del invernadero y 1404 para la posición. El nivel de referencia se tomó el punto más bajo del invernadero, el cálculo de las alturas se muestra en la siguiente tabla

Tabla 24 Presión disponible en mca (metros de columna de agua).

Ubicación	Altura (msnm)	Altura (m)	Pest(bar)
Punto bajo del invernadero	1404	0	0,0
Tubería micro aspersores	-	3	0,3
Punto alto del invernadero	1415	11	1,1
Tanque de agua	1429	25	2,5
Nivel de agua	-	2,3	0,2
Altura total disponible		24,3	2,4

A continuación, se presentan los datos obtenidos del análisis hidráulico:

Tabla 25, Velocidad del fluido por tramo.

Tramo	Q(L/s)	Dtabla(mm)	L(m)	e(mm)	v(m ² /s) 20 grados	V(m/s)
1/Tubería principal	0,82	51,38	75	1,50E-03	1,00E-06	0,39
2/Multiple 1	0,82	51,38	40	1,50E-03	1,00E-06	0,39
3/Multiple 2/no existent	0,14	51,38	52	1,50E-03	1,00E-06	0,07

Según el libro en Operaciones Unitarias en ingeniería química el intervalo de caudal óptimo para un fluido se puede ver en la siguiente tabla:

Tabla 26 Velocidades recomendadas para fluidos en tuberías.

Fluido	Tipo de Flujo	Velocidad	
		ft/s	m/s
Líquidos poco viscosos	Flujo por gravedad	0.5 – 1	0.15 – 0.30
	Entrada de bomba	1 – 3	0.3 – 0.9
	Salida de bomba	4 – 10	1.2 – 3
	Línea de Conducción	4 – 8	1.2 – 2.4
Líquidos viscosos	Entrada de bomba	0.2 – 0.5	0.06 – 0.15
	Salida de bomba	0.5 – 2	0.15 – 0.6
Vapor de Agua		30 – 50	9 – 15
Aire o gas		30 – 100	9 – 30

Dado lo anterior se puede determinar que todos los tramos menos el de los aspersores cumplen con el rango de velocidades, por lo que posteriormente se harán los cambios pertinentes.

Tabla 27 Accesorios en la tubería.

Tramo	Accesorio	cantidad	K	Total	Hf (mca)
1/Tubería principal	Codo 90 grados	7,00	0,38	4,61	0,04
	Uniones	2,00	0,05		
	Valvula de bola	1,00	1,80		
	Filtro	1,00	0,05		
2/Multiple 1	T	5,00	0,81	4,43	0,04
	Codo 90 grados	1,00	0,38		
3/Multiple 2/no existente	micro aspersores	7,00	70,00	490,00	0,11

Dado que en la que contiene los valores de K no se encuentran ciertos accesorios, esta se calculó con los datos en las tablas, Tabla 52 y Tabla 53, por lo que aplicando la fórmula se obtuvo de la siguiente manera:

$$K = (0,012) * 150 = 1,8$$

Tabla 28 Perdidas por fricción en la tubería.

Tramo	Re	e/D	fricción	hf(mca)	Hs=hf*F	F
1/Tubería principal	2,02E+04	2,92E-05	0,0257	0,30	0,00	0,00
2/Multiple 1	2,02E+04	2,92E-05	0,0257	0,16	0,07	0,42
3/Multiple 2/no existente	3,37E+03	2,92E-05	0,0427	0,01	0,00	0,41

La presión que requiere el sistema se calculó sumando las pérdidas de Hf en el primer tramo con las pérdidas por accesorios, en el primer y segundo múltiple se sumó las Hs con las pérdidas por accesorio y finalmente las pérdidas por el micro aspersor, así como la presión dinámica está calculada con la velocidad del último tramo y la presión de operación del mismo, a continuación, se muestra la donde se encuentran los valores obtenidos.

Tabla 29 Presión requerida por tramo.

Tramo	Presión de operación(mca)	P (mca)	Pdim(mca)	P (bar)
Tuberia principal	0,00	0,33	2E-04	0,03
Múltiple 1	0,00	0,10		0,01
Múltiple 2/no existente	0,00	0,11		0,01
Micro aspersor	15,30	15,30		1,50

Para la presión total requerida para el sistema se puede observar en el diseño. Resumen donde se sumaron todas las presiones en la Tabla 29 Presión requerida por tramo.

Tabla 30 Presión resultante de la valoración.

	Presión (mca)	Presión (bar)
Presión mínima requerida	15,8	1,6
Presión del sistema	24,3	2,4
Presión resultante	8,4	0,8

Diseño Hidráulico

Como se observó en la Tabla 30 Presión resultante de, el sistema actual soportará el diseño propuesto por lo que no necesitará una bomba hidráulica, por lo tanto, se procedió al diseño del sistema con ciertas modificaciones con respecto al anterior.

En la siguiente tabla se tienen los cambios realizados al sistema actual:

Tabla 31 Velocidad del fluido por tramo.

Tramo	Q(L/s)	Dtabla(mm)	g(ms ²)	L(m)	e(mm)	v(m ² /s) 20 grados	V(m/s)
1/Tubería principal	0,82	51,38	9,81	75	0,0015	1,00E-06	0,39
2/Múltiple 1	0,82	51,38	9,81	40	0,0015	1,00E-06	0,39
3/Múltiple 2 (crítico)	0,14	28,00	9,81	52	0,0015	1,00E-06	0,22

El primer cambio se realizó en el múltiple número dos, en el que se utilizó un diámetro interno el cual cumpliera con la velocidad óptima propuesta Además. de no generar una pérdida de presión dinámica demasiado alta, por lo que el diámetro seleccionado fue de 28mm ya restándole el espesor del tubo esto con respecto a la Tabla 58.

Tabla 32 Accesorios en la tubería.

Tramo	Accesorio	cantidad	K	Total	H (accesorios)
1/Tubería principal	Codo 90 grados	7,00	0,38	4,61	0,04
	Uniones	2,00	0,05		
	Valvula de bola	1,00	1,80		
	Filtro	1,00	0,05		
	Valvula automática mariposa	1,00	0,00		
2/Multiple 1	T	5,00	0,81	6,84	0,05
	Codo 90 grados	1,00	0,38		
	Contracción brusca	6,00	0,35		
	Uniones	6,00	0,05		
3/Multiple 2 (crítico)	Valvula reguladora de caudal	6,00	0,01	490,00	1,22
	micro aspersores	7,00	70,00		

Entre los accesorios agregados se colocó en cada tramo una válvula de control de flujo para garantizar un flujo homogéneo y constante, además de contracciones bruscas ya que se redujo el diámetro de cada lateral o ramal, el valor de pérdida de la válvula de mariposa y los controladores de flujo se sacaron de las Gráfico 1 y el Gráfico 2 respectivamente.

Tabla 33 Pérdidas por fricción en la tubería.

Tramo	Re	e/D	fricción	hf(mca)	Hs=hf*F	F
1/Tubería principal	2,02E+04	2,92E-05	0,0257	0,30	0,00	0,00
2/Multiple 1	2,02E+04	2,92E-05	0,0257	0,16	0,07	0,42
3/Multiple 2 (crítico)	6,19E+03	5,36E-05	0,0354	0,16	0,07	0,41

Las pérdidas anteriores se calcularon de la misma manera que en el proceso de valoración.

Tabla 34 Presión requerida por tramo.

Tramo	Precion de operacion(mca)	Pest(mca)	Pdim(mca)	Pest(bar)
1/Tuberia princip	0	0,33	2E-03	0,03
2/Multiple 1	0	0,12		0,01
3/Multiple 2 (crítico)	0	1,29		0,13
Micro aspersor	15,3	15,30		1,50

Tabla 35 Presión resultante del diseño

	Presión (mca)	Presión (bar)
Presión minima requerida	17,0	1,7
Presión del sistema	24,3	2,4
Presión resultante	7,2	0,7

Se supuso para la obtención del ahorro de agua una línea de goteros de 3 l/h y un espaciamento de 0,4m los cuales son valores medios de sistemas comunes de riego por goteo

La cantidad de goteros y caudal se calcularon con las siguientes fórmulas:

$$\#Gotos = \frac{L}{Eg}$$

Donde

#Gotos número de goteros por lateral.

L: longitud del lateral (m).

Eg: espaciamento entre goteros (m).

$$Q = \#Gotosos * Q_g$$

Donde

Q: caudal total de todo el lateral (l/h).

#Gotosos: número de goteros por lateral.

Q_g : caudal por gotero (l/h).

A continuación, se muestran los datos obtenidos en los cuales se utilizó los valores más altos de tiempo de todo el periodo.

Tabla 36 Comparación de caudales de los sistemas de riego

			Tiempo Max	
Número de goteros	130	Total de riego (l/h)	H	Min
Caudal total por lateral	390	2340	4	48
Micro aspersión	70	2940	3	48

Tabla 37 Ahorro de agua del sistema propuesto

	Cantidad de agua mensual por riego (L)	Ahorro mensual en litros
Sistema por goteo	44 910	791
Micro aspersión	44 119	

Soportaría para la tubería

Según el artículo 6.4.3-2 para tubería colgante ya sea vertical u horizontal se utilizarán abrazaderas que estarán sujetas al techo o en este caso al tubo estructural del invernadero.

Se determinaron los diámetros y distancia de las abrazaderas según los diámetros de la tubería con respecto a la tabla 59 dimensiones de las abrazaderas. y tabla 60 espaciamiento máximo entre soportes para tuberías colgantes. Dichas abrazaderas y espaciamiento se muestran a continuación:

Diámetro de la Tubería (mm)	Espesor de la abrazadera (mm)	Ancho de la abrazadera (mm)	Diámetro de la varilla (mm)	Espaciamiento entre soportes (m) Horizontal	Espaciamiento entre soportes (m) Vertical
50	6,35 (1/4")	51	12,7 (1/2")	2,00	2,5
32	6,35 (1/4")	38	9,53 (3/8")	2,00	-

Se seleccionó un soporte de 2 pulgadas para la tubería de 50mm de tipo doble ala a presión y un 2 ½ pulgadas tipo pera o cuelga para la tubería de 32mm dichos tipos se pueden ver a continuación:



Figura 21 Abrazadera doble presión

Este tipo de soporte se utilizará para la tubería de distribución el cálculo de la cantidad necesaria se realizó dividiendo la longitud de la tubería entre el espaciamiento necesario.

$$\#soporte = \frac{40}{2} = 20$$



Figura 22 Soporte tipo pera o cuelga

Este tipo de soporte se utilizará para cada uno de los múltiples por lo que la cantidad de los mismos se calculó dividiendo la longitud de la tubería entre el espacio recomendado por la cantidad de laterales.

$$\#soportes = \frac{52}{2} * 6 = 156$$

Automatización

Utilizando los datos obtenidos sobre el tiempo de riego se extrajo y se colocó en otra tabla para obtener el tiempo en minutos de esta manera tener mayor precisión.

Tabla 38 Tiempo de riego en horas y minutos.

Etapa	Horas	Minutos
Ini	2	36
Des	3	18
Med	3	48
Fin	3	48

Para el proceso de programación se utilizó el programa llamado Logo, en que por medio de un sistema gráfico se desarrolló la siguiente programación:

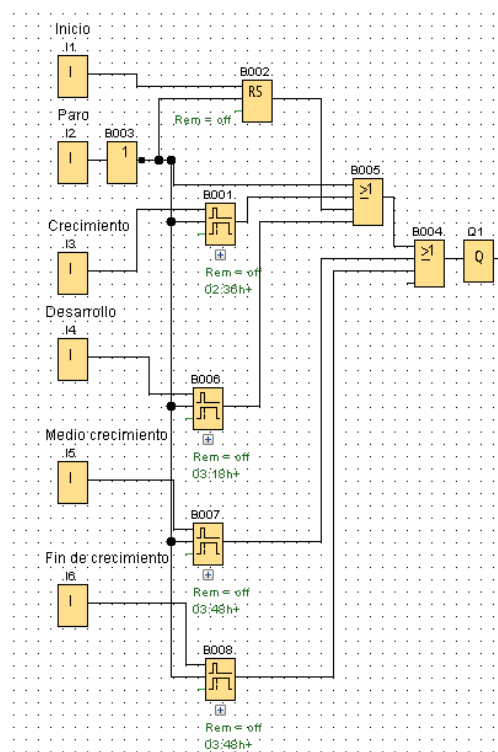


Figura 23

Para este diseño se utilizó un componente llamado relé auto enclavador el cual se usó para la conexión y des conexión del sistema, además de funciones “or’ y pulsadores para cada

etapa de crecimiento en la cual cada punto del mismo lleva consigo un temporizador de retardo de desconexión para de esta manera controlar el tiempo de riego en cada etapa.

Se hizo la programación de riego de esta manera y no de manera semanal, ya que dado que el clima es muy variante la frecuencia de riego se puede ver afectada ya que, aunque sea un ambiente casi controlado al momento que se produzca una precipitación en la zona, esta va a aumentar la humedad del terreno por lo que las necesidades de la planta dependerá en mayor o menor medida de la cantidad de precipitación dada.

A continuación se puede ver un diagrama de control básico para de esta manera observar su conexión con los elementos requeridos.

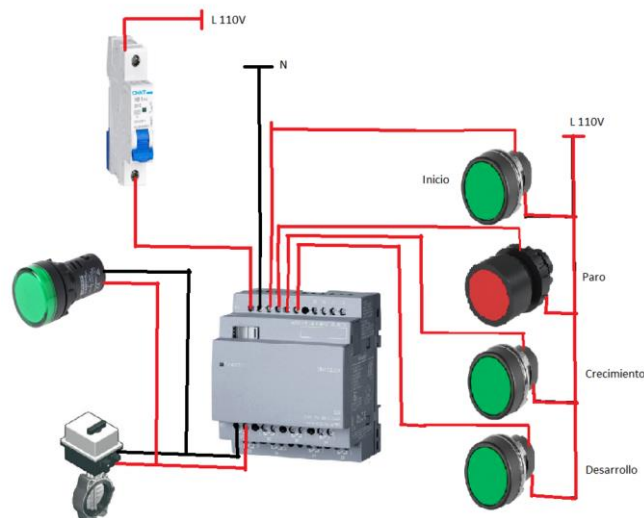


Figura 24

Tablero

Para la selección del tablero se inició con la selección del PLC el cual es el LOGO 230RCEO el cual funciona a un voltaje de 85V-264V con una frecuencia de 37Hz-63Hz por lo que no se necesitará un rectificador para una fuente de corriente directa, los pulsadores se

escogieron cinco configurados de manera normalmente abierto y solo uno normalmente cerrado. Además, de una luz que indique el funcionamiento del sistema, todos estos componentes en un gabinete de 20 pulgadas con cerradura , un protector de sobre corriente o breker de 1A para la protección del sistema contra corto circuito, este se determinó por medio de la ficha técnica del producto la cual se encuentra en el anexo en la Tabla 65 , y un riel din para el montaje de los elementos en el gabinete.

Los elementos propuestos se pueden observar en la siguiente tabla. Los componentes usados se encontrarán en el apartado de anexo donde se podrá ver algunas de sus características.

Tabla 39 Componentes del tablero

Elemento	Marca
PLC	Siemens
Gabinete	ON-Q
Riel perforado	Eaton
boton pulsador	MOELLER
Breker 1 polo 16 A	Siemens
Canaleta ranurada	LE BTICINO
Borner Conexion	CIRCUL
neutro Conexion	CIRCUL
Barra tierra	-

Para dar una idea más clara de los componentes y su montaje se observará en la siguiente imagen de un ejemplo de un panel que se acerca lo más posible al propuesto.



Figura 25 Panel armado, Fuente: económicos

Valoración económica

Para la obtención del ahorro de agua se realizó el cálculo del costo con respecto al tiempo de riego máximo entre todos los periodos de cultivo, dicho ahorro se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 40 Ahorro estimado de Agua

Ahorro de agua anual			
Costo agua de 0 -15 m ³	₡	445,00	₡ 16 889,11
Cantidad de agua m ³		1	

En la Tabla 41 Costo de Operación, se utilizó los valores de la bomba hidráulica existente la cual posee una potencia de 4,2kW para de esta manera hacer un cálculo aproximado del costo de operación del sistema.

Tabla 41 Costo de Operación

Costo de operacion Anual			
Costo energético	Costo electrico (kWh)	₺ 74,39	₺ 56 990,84
	Bomba Hidraulica (kW)	4,2	
	Tiempo	3,8	
	Kw/h	15,96	
Costo Hídrico	Costo agua de 0 -15m3	₺ 445,00	₺ 235 596,05
	Cantidad de agua m3	11	
Total			₺ 292 586,89



A la hora de realizar los costos de mantenimiento se procedió a otorgar un tiempo prudente a cada actividad de mantenimiento para de esta manera calcular el costo del mismo con respecto al precio por horas de un ING. Electromecánico para efectuar dichas actividades.

Tabla 42 Presupuesto Mantenimiento

Actividades de Mantenimiento			
Mano de obra	Pago por hora	₺ 14 000,00	-
	Tiempo	Horas	Costo
Revision de valvulas	anual	2	₺ 28 000,00
Revision de fugas	mensual	2	₺ 28 000,00
Revision de tuberia	mensual	2	₺ 28 000,00
Dreno del sistema	mensual	5	₺ 70 000,00
Revision micro aspersores	anual	2	₺ 28 000,00
Lavado del sistema	anual	5	₺ 70 000,00
Medicion de la presion	mensual	3	₺ 42 000,00
Subtotal mantenimiento			₺ 294 000,00
Imprevistos 3%			₺ 8 820,00
Total			₺ 302 820,00

A continuación, se muestra una tabla donde se presentan los elementos seleccionados para el diseño con su respectiva cantidad, impuesto y precio.

Tabla 43 Costo de Inversión.

Elemento	Marca	Cantidad	Precio	Precio
Tuberia PE 100m	Carsystem	4	\$ 33,87	₺ 20 997,37
Filtro	Azud	1	\$ 209,47	₺ 129 858,83
Valvula mariposa	Fip	1	\$ 168,88	₺ 104 695,47
Valvula de control	bermad	6	\$ 676,90	₺ 419 637,39
Micro aspersores	netafim	42	\$ 48 307,50	₺ 48 307,50
Abrazaderas	Calco	176	₺ 4 828,00	₺ 849 728,00
PLC	Siemens	1	₺ 130 000,00	₺ 130 000,00
Gabinete	ON-Q	1	₺ 57 315,05	₺ 57 315,05
Riel perforado	Eaton	1	₺ 4 722,00	₺ 4 722,00
boton pulsador	MOELLER	6	₺ 6 224,16	₺ 37 344,96
Breker 1 polo 1 A	Siemens	1	₺ 82 178,55	₺ 82 178,55
Canaleta ranurada	LE BTICINO	1	₺ 9 048,00	₺ 9 048,00
Borner Conexion	CIRCUL	1	₺ 625,03	₺ 625,03
neutro Conexion	CIRCUL	1	₺ 3 010,16	₺ 3 010,16
Barra tierra	-	1	₺ 1 541,48	₺ 1 541,48
Inversión				₺ 1 899 009,78
Mantenimiento				₺ 302 820,00
total				₺ 2 201 829,78

El tipo de cambio que se utilizó se puede ver en la siguiente tabla:

Tabla 44 Tipo de cambio.

Moneda	Colón
Dólar	619,94

Debido que el sistema anterior denominado “riego por goteo” genera muchos problemas este se renueva una vez por año con un costo aproximado de 5 millones, el cual se tomará como

el ahorro ya que el nuevo sistema tiene una vida útil de 10 años puesto esto el R.O.I se puede ver en la siguiente tabla:

Tabla 45 Indicador Financiero

Costo de inversión	₡ 2 201 829,78
Ahorro generado	₡ 5 016 889,11
R.O.I	1,28
Tiempo de recuperacion en años	0,4

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. Como se pudo ver en el análisis de resultados se determinaron las condiciones actuales del invernadero como lo son la dimensión del mismo : áreas, alturas, distribución y longitud de las tuberías en la que se se puso un espesor crítico que en este caso es el más grueso el cual es de una tubería de 50mm o 2 pulgadas y un sdr de 13,5 que posee un espesor de pared de 4,47mm, además de la fuente de agua la cual es un tanque marca Ecotank de 10 mil litros el cual según entrevistas realizadas en el lugar, este tanque siempre permanece lleno dado que se repone conforme se va vaciando. Se determinó los requerimientos hídricos de la planta el cual se utilizó el valor máximo de todos los periodos dando un valor de 62l/h de esta manera se seleccionó un micro aspersor de 70l/h con una presión de funcionamiento de 1,5.
2. Se realizó la evaluación del sistema con la condición más críticas la cuales eran la utilización de el espesor más grueso como ya se mencionó anteriormente y el uso de la ruta más larga por la cual el agua tendría que transportarse, por otra parte, se destinó un factor de reducción del 20% para el tanque que cuyo nivel con este factor resultó en 2,3 metro. además se supuso un diámetro de 50mm o dos pulgadas para la tubería existente. Con estas condiciones se obtuvo una presión mínima de uso de 1,6 bar o 15,8 mca y la presión otorgada por el sistema es de 2,4 bar dicho este se tiene una presión resultante de 0,8 bar o 8,4 mca, por lo que se concluyó que el sistema si daría abasto para el sistema propuesto.
3. Las mejoras o actualizaciones que se realizaron fueron, un cambio del filtro, se utilizó una tubería de 32mm para cada uno de los laterales para tener una velocidad adecuada para el sistema, además de la utilización de válvulas de control de flujo de diafragma para garantizar una distribución homogénea en cada parte de la distribución de la tubería, además se determinó el ahorro de agua asociado al cambio de sistema el cual es de 791 litros por año.
4. Se realizó la automatización del sistema mediante un PLC modelo LOGO 230RC de manera tal que en cada etapa de crecimiento de la planta se tiene un tiempo de riego asociado, el cual para el inicio del mismo se determinó un tiempo de 2 horas y 36 minutos, para la etapa de media se tuvo un tiempo de 3 horas y 18 minutos, la etapa de desarrollo con 3 horas y 48 minutos y finalmente la etapa final en la que se necesitó el mismo tiempo.
5. Se determinó la ganancia por unidad invertida y el tiempo de recuperación de la inversión la cual es de 1,28 colones por cada colón invertido y la recuperación se dará en un periodo de cinco meses.

Recomendaciones

1. Se recomienda la elaboración de análisis anuales sobre el cambio climático en las épocas de cosecha para de esta manera ajustar los tiempos de riego según etapa para el cultivo.
2. Se recomienda la implementación de este tipo de sistema, así como la automatización para los otros invernaderos existentes.
3. Capacitar al personal para realizar mantenimientos o la contratación de una persona a cargo del mismo para de esta manera alargar la vida útil de los elementos, así como su correcto funcionamiento.

Referencias

- Amézquita, E. (1999). REQUERIMIENTOS DE AGUA Y NUTRICION DE. En E. Amizgui, *REQUERIMIENTOS DE AGUA Y NUTRICION DE* (pág. 23). Colombia.
- CentralAmericaData.com. (2 de Octubre de 2017). Obtenido de CentralAmericaData.com.
- Demin, P. E. (2014). Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego. 24.
- ElectroIndustria, E. d. (Diciembre de 2016). *ElectroIndustria*. Obtenido de ElectroIndustria:
<http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=2942&xit=controladores-eficientes-para-la-industria-inteligente>
- FAO, E. (s.f.). *Evatranspiración del cultivo*.
- Fernández, R. (2010). *Manual de Riego para agricultores*. Andalucía.
- GARCÍA, A. (10 de mayo de 2017). *gardeneas*. Obtenido de gardeneas:
<https://gardeneas.com/tuberias-de-polietileno/>
- gardeneas practica el garden*. (2 de diciembre de 2016). Obtenido de gardeneas practica el garden: <https://gardeneas.com/ventajas-del-riego-por-goteo-y-desventajas/>
- Hernández, F. R. (2014). *Metodología de la investigación*. México: McGraw Hill.
- ilitia.com.ar. (4 de junio de 2021). *Distritec hidraulica.neumatica*. Obtenido de Distritec hidraulica.neumatica: <https://www.distritec.com.ar/que-es-una-electrovalvula-y-para-que-sirve/#>
- Jiménez, S. (04 de mayo de 2019). *Hidráulica Fácil*. Obtenido de Hidráulica Fácil:
<https://www.hidraulicafacil.com/2019/05/disenio-hidraulico-de-tuberias-con.html>
- LIOTTA, M. A. (s.f.). *LOS SISTEMAS DE RIEGO POR GOTEO Y MICROASPERION*. San Juan.
- McCabe. (1991). *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química, 4 Ed.* McGraw-Hill.
- Muñoz, M. P. (2009). *mpuga.com*. Obtenido de mpuga.com: <http://www.mpuga.com/>
- Pereira, L. S. (2010). *El riego y sus Tecnologías*. Albacete: Europa-América.
- Pocito, A. d. (4 de julio de 2013). Capacitación técnica: Riego por goteo en Olivo. cartago, san juan, Costarica Rica.
- Portalfruticola. (4 de septiembre de 2017). *Portalfruticola.com*. Obtenido de Portalfruticola.com:
<https://www.portalfruticola.com/noticias/2017/09/04/infiltracion-del-agua-en-el-suelo-importancia-y-metodos-para->

ANEXOS

Tablas Coeficientes *K*

Tabla 46

CUADRO 12

Valores del coeficiente único (promedio temporal) del cultivo, K_c , y alturas medias máximas de las plantas para cultivos no estresados y bien manejados en climas sub-húmedos ($HR_{rel} = 45\%$, $u_2 = 2 \text{ m s}^{-1}$) para usar en la fórmula de la FAO Penman-Monteith ET_c .

Cultivo	$K_{c,ini}$ ¹	$K_{c,max}$	$K_{c,fin}$	Altura Máx. Cultivo (h) (m)
a. Hortalizas Pequeñas	0,7	1,05	0,95	
Brécol (Brócoli)		1,05	0,95	0,3
Col de Bruselas		1,05	0,95	0,4
Repollo		1,05	0,95	0,4
Zanahoria		1,05	0,95	0,3
Coliflor		1,05	0,95	0,4
Apio (Céleri)		1,05	1,00	0,6
Ajo		1,00	0,70	0,3
Lechuga		1,00	0,95	0,3
Cebolla		1,05	0,75	0,4
- seca		1,00	1,00	0,3
- semilla		1,05	0,80	0,5
Espinaca		1,00	0,95	0,3
Rábano		0,90	0,85	0,3
b. Hortalizas- Familia de la Solanáceas	0,6	1,15	0,80	
Berenjena		1,05	0,90	0,8
Pimiento Dulce (campana)		1,05 ²	0,90	0,7
Tomate		1,15 ²	0,70-0,90	0,6
c. Hortalizas- Familia de las Cucurbitáceas	0,5	1,00	0,80	
Melón		0,85	0,60	0,3
Pepino		1,00 ²	0,75	0,3
- Cosechado Fresco		1,00	0,90	0,3
- Cosechado a Máquina		0,5	1,00	0,3
Calabaza de Invierno		1,00	0,80	0,4
Calabacín (zucchini)		0,95	0,75	0,3
Melón dulce		1,05	0,75	0,4
Sandía		0,4	1,00	0,75
d. Raíces y Tubérculos	0,5	1,10	0,95	
Remolacha, mesa		1,05	0,95	0,4
Yuca o Mandioca		0,3	0,80 ³	1,0
- año 1		0,3	1,10	1,5
- año 2		0,5	1,05	0,95
Chirivía		1,15	0,75 ⁴	0,6
Patata o Papa		1,15	0,65	0,4
Camote o Batata		1,10	0,95	0,6
Nabos (Rutabaga)		0,35	1,20	0,70 ⁵
Remolacha Azucarera		0,35	1,20	0,70 ⁵

¹ Estos son valores generales de $K_{c,ini}$ considerando un manejo típico del riego y humedecimiento del suelo. Para humedecimientos frecuentes, tal como en el caso de riego por aspersión de alta frecuencia o lluvia diaria, estos valores pueden aumentar sustancialmente pudiendo acercarse a 1,0 a 1,2. El valor de $K_{c,max}$ es una función del intervalo de humedecimiento y la tasa potencial de evaporación durante las etapas inicial y de desarrollo del cultivo, siendo estimado con mayor exactitud a través de las Figuras 29 y 30, o la Ecuación 7-3 del Anexo 7, o usando el coeficiente dual $K_{c,max} + K_e$. Utilice el valor de $K_{c,max}$ para el grupo cuando no aparece un valor de $K_{c,max}$ para el cultivo.

² En algunas oportunidades, los Frijoles o judías, Guisantes, Leguminosas, Tomates, Pimientos y Pepinos son cultivados utilizando empalizadas que alcanzan los 1,5 a 2 metros de altura. En estos casos es necesario incrementar los valores de K_c . Para frijoles o judías verdes, pimentones y pepinos se puede asumir un valor de 1,15 y en el caso de los tomates, frijoles secos y los guisantes, de 1,20. Bajo esas condiciones también debe aumentarse el valor de h.

³ Los valores correspondientes a la etapa de mediados de temporada para la mandioca, asumen condiciones de no-estrés durante o después de la temporada lluviosa. Los valores de $K_{c,fin}$ toman en cuenta el letargo durante la estación seca.

⁴ El valor de $K_{c,fin}$ para papas o patatas de ciclo largo con rotura de los estolones es alrededor de 0,40.

⁵ El valor de $K_{c,fin}$ corresponde a condiciones sin riego durante el último mes de la temporada productiva. El valor de $K_{c,fin}$ para la remolacha azucarera es mayor, hasta 1,0, cuando ocurra riego o lluvias significativas durante el último mes.

Tabla 47 Etapa de crecimiento de la planta

CUADRO 11
Duración de las etapas de crecimiento* del cultivo
para distintos periodos de siembra y regiones climáticas (días)

Cultivo	Inic. (L _{in})	Des. (L _{des})	Med (L _{med})	Final (L _{fin})	Total	Fecha de Siembra	Región
a. Hortalizas Pequeñas							
Brécol (Brócoli)	35	45	40	15	135	Sept.	Calif. Desierto, EU
Repollo	40	60	50	15	165	Sept.	Calif. Desierto, EU
Zanahoria	20	30	50/30	20	100	Oct/Ene.	Clima Árido
	30	40	60	20	150	Feb/Mar.	Mediterráneo
	30	50	90	30	200	Oct.	Calif. Desierto, EU
Coliflor	35	50	40	15	140	Sept	Calif. Desierto, EU
Apio (Céleri)	25	40	95	20	180	Oct.	(Semi)Árido
	25	40	45	15	125	Abril	Mediterráneo
	30	55	105	20	210	Ene.	(Semi)Árido
Crucíferas ¹	20	30	20	10	80	Abril	Mediterráneo
	25	35	25	10	95	Febrero	Mediterráneo
	30	35	90	40	195	Oct/Nov.	Mediterráneo
Lechuga	20	30	15	10	75	Abril.	Mediterráneo
	30	40	25	10	105	Nov/Ene.	Mediterráneo
	25	35	30	10	100	Oct/Nov.	Región Árida
	35	50	45	10	140	Feb.	Mediterráneo
Cebolla (seca)	15	25	70	40	150	Abril	Mediterráneo
	20	35	110	45	210	Oct; Ene.	Región Árida; Calif.
Cebolla (verde)	25	30	10	5	70	Abril/Mayo	Mediterráneo
	20	45	20	10	95	Octubre	Región Árida
	30	55	55	40	180	Marzo	Calif., EU
Cebolla (semilla)	20	45	165	45	275	Sept.	Calif. Desierto, EU
Espinaca	20	20	15/25	5	60/70	Abr; Sep/Oct	Mediterráneo
	20	30	40	10	100	Noviembre	Región Árida
Rábano	5	10	15	5	35	Mar/Abr.	Medit.; Europa
	10	10	15	5	40	Invierno	Región Árida
b. Hortalizas - Familia de las Solanáceas							
Berenjena	30	40	40	20	130/140	Octubre	Región Árida
	30	45	40	25		May/Junio	Mediterráneo
Pimiento Dulce (campana)	25/30	35	40	20	125	Abril/Junio	Europa y Medit.
	30	40	110	30	210	Octubre	Región Árida
Tomate	30	40	40	25	135	Enero	Región Árida
	35	40	50	30	155	Abr/Mayo	Calif., EU
	25	40	60	30	155	Enero	Calif. Desierto, EU
	35	45	70	30	180	Oct/Nov.	Región Árida
	30	40	45	30	145	Abril/Mayo	Mediterráneo
c. Hortalizas - Familia de las Cucurbitáceas							
Melón	30	45	35	10	120	Enero	Calif., EU
	10	60	25	25	120	Ago.	Calif., EU
Pepino	20	30	40	15	105	Junio/Ago.	Región Árida
	25	35	50	20	130	Nov; Feb.	Región Árida
Calabaza de Invierno	20	30	30	20	100	Mar, Ago.	Mediterráneo
	25	35	35	25	120	Junio	Europa
Calabacín (zucchini)	25	35	25	15	100	Abr; Dic.	Medit.; Reg. Árida
	20	30	25	15	90	May/Junio	Medit.; Europa

* Las duraciones de las etapas de crecimiento presentadas en este Cuadro son indicativas de condiciones generales, pudiendo variar significativamente de región a región, con las condiciones climáticas y de cultivo, y con la variedad del cultivo. Se recomienda al usuario obtener información local apropiada.

¹ Las crucíferas incluyen repollo, coliflor, brócoli y col de Bruselas. El amplio rango de duraciones de la temporada productiva es debido a diferencias en variedades y especies.

Tabla 48 Prundidad radicular y Fraccion de agotamiento

CUADRO 22
Rangos de profundidad máxima efectiva de las raíces (Z,) y fracción de agotamiento de la humedad en el suelo (p) para condiciones sin estrés hídrico, para cultivos comunes

Cultivo	Profundidad radicular máxima ¹ (m)	Fracción de agotamiento ² (para ET = 5 mm día ⁻¹) p	
a. Hortalizas Pequeñas			
Brócoli	0,4-0,6	0,45	
Col de Bruselas	0,4-0,6	0,45	
Repollo	0,5-0,8	0,45	
Zanahorias	0,5-1,0	0,35	
Coliflor	0,4-0,7	0,45	
Apio (Céleri)	0,3-0,5	0,20	
Ajo	0,3-0,5	0,30	
Lechuga	0,3-0,5	0,30	
Cebolla	= seca = verde = semilla	0,3-0,6 0,3-0,6 0,3-0,6	0,30 0,30 0,35
Espinaca	0,3-0,5	0,20	
Rábano	0,3-0,5	0,30	
b. Hortalizas - Familia de la Solanáceas			
Berenjena	0,7-1,2	0,45	
Pimiento Dulce (campana)	0,5-1,0	0,30	
Tomate	0,7-1,5	0,40	
c. Hortalizas - Familia de las Cucurbitáceas			
Melón	0,9-1,5	0,45	
Pepino	= cosechado fresco = cosechado a máquina	0,7-1,2 0,7-1,2	0,50 0,50
Calabaza de Invierno	1,0-1,5	0,35	
Calabacín (zucchini)	0,6-1,0	0,50	
Melón dulce	0,8-1,5	0,40	
Sandía	0,8-1,5	0,40	
d. Raíces y Tubérculos			
Remolacha, mesa	0,6-1,0	0,50	
Yuca o Mandioca	= año 1 = año 2	0,5-0,8 0,7-1,0	0,35 0,40
Chirivía	0,5-1,0	0,40	
Papa o patata	0,4-0,6	0,35	
Camote o Batata	1,0-1,5	0,65	
Nabos (y Rutabaga)	0,5-1,0	0,50	
Remolacha Azucarera	0,7-1,2	0,55 ³	

¹ Los valores mayores de Z, son para suelos que no posean capas u otras características que puedan restringir el desarrollo radicular. Los valores menores de Z, pueden ser usados para calendarios de riego y los valores mayores para simular condiciones de estrés hídrico o para condiciones de cultivos de secano.

² Los valores de p son válidos para ET_c = 5 mm día⁻¹. El valor de p puede ser ajustado para diferentes valores de ET, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$p = p_{\text{cuadro 22}} + 0,04 (5 - ET_c)$$

donde p está expresado como una fracción y ET_c en mm día⁻¹.

³ Con frecuencia la remolacha azucarera experimenta cierto marchitamiento al final de la tarde en climas áridos y con valores de p < 0,55, con poco impacto en la producción de azúcar.

Tabla 49 Valores de Rugosidad absoluta por material

Tipo de Tubería	Rugosidad \mathcal{E} (mm)	
	Rango	Diseño
PVC, PE		0,0015
Cobre		0,0015
Hierro fundido		
nuevo		0,26
Con revestimiento de asfalto	0,06-0,20	0,12
oxidado	1,00-1,50	
Con incrustaciones	1,50-3,00	
centrifugado		0,05
Hierro galvanizado	0,06-0,25	0,15
Acero soldado		
nuevo	0,03-0,10	0,046
Con revestimiento de asfalto	0,01-0,02	0,015
con corrosión ligera	0,10-0,20	
con corrosión fuerte	1,00-3,00	
Acero remachado	0,90-9,10	1,83

Tabla 50 Exponente de gasto m por formula.

Formula	K	m	n
Darcy-Weisbach	$0.0826 * f_{DW}$	2	5
Hazen-Williams	$10.648 \left(\frac{1}{C_{HW}} \right)^{1.852}$	1.852	4.871
Manning	$10.3 * n^2$	2	16/3
Scobey	$0.004098 * K_s$	1.9	4.9

Tabla 51 Coeficientes de pérdida por accesorio

Accesorio	Diámetro nominal (mm)						
	12	18	25	32	38	50	62
	Coeficiente K						
Codo roscado 90°	2,10	1,69	1,44	1,28	1,16	0,99	0,88
Codo roscado 90° (R.L)	1,29	0,92	0,73	0,61	0,52	0,41	0,35
Codo bridado 90°	-	-	0,43	0,41	0,39	0,38	0,35
Codo bridado 90° (R.L)	-	-	0,41	0,37	0,34	0,30	0,26
Codo roscado 45°	0,37	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31	0,30
Codo bridado 45°	-	-	0,25	0,24	0,22	0,20	0,19
Codo roscado 180°	2,10	1,69	1,45	1,29	1,17	1,00	0,89
Codo bridado 180°	-	-	0,42	0,40	0,38	0,35	0,33
Unión en T roscada (F.L)	0,93	0,93	0,91	0,93	0,93	0,93	0,93
Unión en T roscada (F.T)	2,69	2,49	2,23	2,05	1,92	1,72	1,58
Unión en T bridada (F.L)	-	-	0,26	0,23	0,21	0,19	0,17
Unión en T bridada (F.T)	-	-	0,96	0,92	0,88	0,81	0,77
Válvula globo roscada (A)	13,09	10,67	9,23	8,25	7,52	6,50	5,61
Válvula globo bridada (A)	-	-	12,40	11,14	10,20	6,89	7,96
Válvula compuerta roscada (A)	0,34	0,26	0,21	0,18	0,16	0,13	0,11
Válvula compuerta bridada (A)	-	-	0,74	0,58	0,47	0,34	0,27
Válvula antirretorno roscada	7,11	6,84	6,08	4,56	4,17	3,63	3,25
Válvula antirretorno bridada	-	-	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Válvula angular roscada	9,72	6,23	4,54	3,55	2,91	2,12	1,66
Válvula angular bridada	-	-	3,84	3,43	3,13	2,71	2,42
Válvula de pie con colador	-	-	2,75	2,46	2,25	1,95	1,75
Acoples o Uniones	0,12	0,09	0,06	0,07	0,08	0,05	0,06

Tabla 52 Coeficientes de pérdida por accesorio

Continuación

Accesorio	Diámetro nominal (mm)						
	75	100	150	200	250	300	350
	Coeficiente K						
Codo roscado 90°	0,79	0,66	0,55	-	-	-	-
Codo roscado 90° (RL)	0,30	0,23	0,17	-	-	-	-
Codo bridado 90°	0,33	0,31	0,28	0,26	0,25	0,24	0,23
Codo bridado 90° (RL)	0,24	0,21	0,17	0,15	0,13	0,12	0,11
Codo roscado 45°	0,29	0,28	0,26	-	-	-	-
Codo bridado 45°	0,17	0,16	0,14	0,12	0,11	0,11	0,10
Codo roscado 180°	0,80	0,69	0,56	-	-	-	-
Codo bridado 180°	0,32	0,30	0,27	0,25	0,24	0,23	0,22
Unión en T roscada (FL)	0,93	0,93	0,93	-	-	-	-
Unión en T roscada (FT)	1,46	1,33	1,14	-	-	-	-
Unión en T bridada (FL)	0,16	0,14	0,12	0,10	0,09	0,08	0,08
Unión en T bridada (FT)	0,73	0,67	0,60	0,56	0,53	0,50	0,48
Válvula globo roscada (A)	5,30	4,59	3,74	-	-	-	-
Válvula globo bridada (A)	7,31	6,37	5,24	4,56	4,10	3,76	3,49
Válvula compuerta roscada (A)	0,10	0,08	0,60	-	-	-	-
Válvula compuerta bridada (A)	0,22	0,16	0,10	0,08	0,06	0,05	0,04
Válvula antirretorno roscada	2,98	2,59	2,13	-	-	-	-
Válvula antirretorno bridada	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Válvula angular roscada	1,36	0,99	0,83	-	-	-	-
Válvula angular bridada	2,21	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Válvula de pie con colador	1,60	1,39	1,14	0,99	0,88	0,81	0,75
Acoples o Uniones	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01

Tabla 53 Coeficientes para calculo de la perdida por accesorio

Tamaño de conducto nominal (pulg)	Factor de fricción, f_s	Tamaño de conducto nominal (pulg)	Factor de fricción, f_s
1/2	0.027	4	0.017
3/4	0.025	5	0.016
1	0.023	6	0.015
1 1/4	0.022	8-10	0.014
1 1/2	0.021	12-16	0.013
2	0.019	18-24	0.012
2 1/2, 3	0.018		

Tabla 54 Coeficientes para calculo de la perdida por accesorio

Tipo	Longitud equivalente en diámetros de conducto, L/D
Válvula de globo—completamente abierta	340
Válvula de ángulo—completamente abierta	150
Válvula de compuerta—completamente abierta	8
— 3/4 abierta	35
— 1/2 abierta	160
— 1/4 abierta	900
Válvula de verificación—tipo giratorio	100
Válvula de verificación—tipo de bola	150
Válvula de mariposa—completamente abierta	45
Codo estándar de 90°	30
Codo de radio de largo de 90°	20
Codo de calle de 90°	50
Codo estándar de 45°	16
Codo de calle de 45°	26
Codo de devolución cerrada	50
Te estándar—con flujo a través de un trazo	20
Te estándar—con flujo a través de una rama	60

Tabla 55 Conversión de unidades

	Altura de agua	Volumen por unidad de área		Energía por unidad de área *
	mm/día	m ³ /(ha-día)	l/(s-ha)	MJ/(m ² -día)
1 mm/día	1	10	0.116	2.45
1 m ³ /(ha-día)	0.1	1	0.012	0.245
1 l/(s-ha)	8.64	86.4	1	21.17
1 MJ/(m ² -día)	0.408	4.082	0.047	1

Tabla 56 Ficha técnica del micro aspersor

SUPERNET™ UD

UPSIDE DOWN



APPLICATIONS

For application where sprinklers are mounted inverted to keep the ground clear and prevent damage to the sprinklers by harvesters and machinery.

SPECIFICATIONS

- Special designed upside down rotor.
- Flow regulated micro-sprinkler, 7 different flow rates: 30, 35, 40, 50, 58, 70, 90 l/h.
Flow rates within pressure range.
- Pressure range 1.5-4.0 bar.
- Recommended filtration: 200 micron / 80 mesh.
Filtration method is to be selected based on the kind and concentration of the dirt particles existing in the water. Wherever sand exceeding 2 ppm exists in the water, a Hydrocyclone is to be installed before the main filter.
When sand/ silt/ clay solids exceed 100 ppm, pre treatment will be applied according to Netafim™ expert team's instructions.
- 5 types of inlet connectors:
Barb
Self tapping
Press fit
3/8" male threaded
1/2" male threaded
- Upper bearing:
A specially designed spring bearing keeps the anti-ant feature even when the sprinkler is mounted in an upside down position.
A spring bearing with Everspin™ feature to improve wear resistance also in harsh conditions.
- The rotor is colored Green.
- SuperNet™ micro-sprinklers meet ISO 8026 standards (SI 1406) with production certified by the Israel Standards Institute (SII).

FEATURES AND BENEFITS

- Unique regulation mechanism ensures even water and nutrients quantities per tree, uniform distribution and wetting diameter regardless of sprinkler's inlet pressures (within pressure range).
- Anti-ant mechanism prevents insect penetration into the area of the sprinklers nozzle.
- Regulated micro-sprinkler made of plastic materials resistant to all agrochemicals & weather conditions.
- Water passage area 30% larger than in any other emitter with identical flow rate. The largest water passages on the market – resists clogging.
- Specially designed for fruit trees, orchards, deciduous and other tree crops requiring efficient water distribution.
- Can be used in Frost mitigation and/or Cooling irrigation systems.
- Long-term reliable service, simple, modular parts, clog resistant design.

Tabla 57 Ficha técnica del micro aspersor

SUPERNET™ TECHNICAL DATA

MODEL	FLOW RATE (L/H)*	REGULATION CHAMBER CODE COLOR	NOZZLE SIZE (MM)	WORKING PRESSURE RANGE (BAR)	CONSTANT K	EXPONENT* X	WETTED DIAMETER (M) 50 CM ABOVE CROP UD MODEL	SWIVEL (ROTOR) CODE COLOR UD MODEL
030	30	Brown	1.14	1.5 - 4.0	30	0	6.0	Green
035	35	Light Blue	1.20	1.5 - 4.0	35	0	6.0	Green
040	40	Blue	1.28	1.5 - 4.0	40	0	6.5	Green
050	50	Green	1.43	1.5 - 4.0	50	0	6.5	Green
058	58	Gray	1.55	1.5 - 4.0	58	0	7.0	Green
070	70	Black	1.73	1.5 - 4.0	70	0	7.0	Green
090	90	Orange	1.74	1.5 - 4.0	90	0	7.0	Green

* within working pressure range

Gráfico 1 Perdidas del filtro

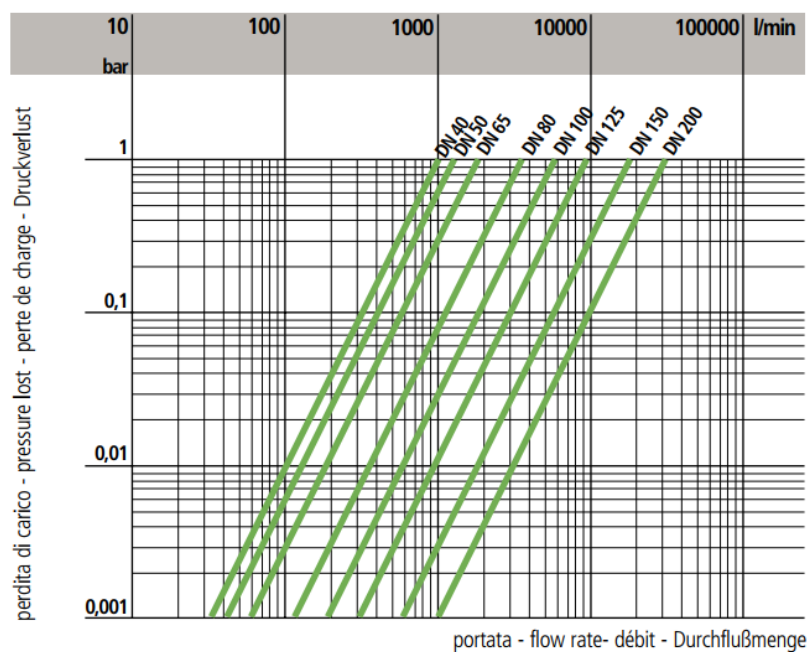


Tabla 58 Dimensiones tubería PVC

Durman®

FT Tubería Tipo SDR

Descripción

Tubería de PVC para conducción de agua potable.

Presentación

Tubería PVC

Diámetros de ½ a 18 pulgadas

Empaque Rieber incorporado o campana cementada

La presión de trabajo varía de acuerdo al SDR

Norma de referencia ASTM D 2241

Aplicaciones y consideraciones básicas

- Este producto es utilizado solamente para sistemas de distribución agua.
- No es apto para la distribución de gases o aire comprimido.

Normas de producto

- Norma ASTM D 2241
- NSF STD 14-61 (si el cliente lo requiere)

Características generales

- Fácil instalación
- Químicamente inerte
- No produce olores ni sabores
- Libres de plomo
- Apariencia uniforme

Especificaciones tubería PVC ASTM D 2241

Diam. Nom.	Diámetro Promedio Externo (mm)	Espesor mínimo de pared (mm) (Tolerancia positiva equivalente al 6% del espesor mínimo)					
		SDR 41	SDR 32,5	SDR 26	SDR 21	SDR17	SDR 13,5
12	21,34±0,10	...	...	...	...	...	1,57+0,09
18	26,67±0,10	...	...	...	1,52+0,09	1,57+0,09	1,98+0,12
25	33,40±0,13	...	...	1,52+0,09	1,60+0,10	1,96+0,12	2,46+0,15
31	42,16±0,13	1,18+0,07	1,52+0,09	1,63+0,10	2,01+0,12	2,49+0,15	3,12+0,19
38	48,26±0,15	1,18+0,07	1,52+0,09	1,85+0,11	2,29+0,14	2,84+0,17	3,58+0,21
50	60,32±0,15	1,47+0,09	1,85+0,11	2,31+0,14	2,87+0,17	3,56+0,21	4,47+0,27
62	73,02±0,18	1,78+0,11	2,24+0,13	2,79+0,17	3,48+0,21	4,29+0,26	5,41+0,32
75	88,90±0,20	2,16+0,13	2,74+0,16	3,43+0,21	4,24+0,25	5,23+0,31	6,58+0,39
100	114,30±0,23	2,79+0,17	3,51+0,21	4,39+0,26	5,44+0,33	6,73+0,40	8,46+0,51
150	168,28±0,28	4,11+0,25	5,18+0,31	6,48+0,39	8,03+0,48	9,91+0,59	12,47+0,75
200	219,08±0,38	5,33+0,32	6,73+0,40	8,43+0,51	10,41+0,62	12,90+0,77	...
250	273,05±0,38	6,65+0,40	8,41+0,50	10,49+0,63	12,98+0,78	16,05+0,96	...
300	323,85±0,38	7,90+0,47	9,96+0,60	12,45+0,75	15,39+0,92	19,05+1,14	...
375	388,62±0,41	9,47+0,57	11,96+0,72	14,94+0,90	18,49+1,11	...	...
450	457,20±0,48	11,15+0,67	14,07+0,84	17,58+1,05	21,77+1,31	26,90+1,61	...

Presión nominal de trabajo a 23 °C

	SDR 41	SDR 32,5	SDR 26	SDR 21	SDR17	SDR 13,5
psi	100	125	160	200	250	315
Kg/cm ²	7,03	8,93	11,25	14,06	17,58	22,15
kPa	690	862	1103	1379	1724	2172



Tabla 59 Dimensiones tubería PE

CARSYSTEM PE 40				
Ø EXT.	Pared	Peso	Rollo	Código
	<i>(mm)</i>	<i>(kg/m)</i>	<i>(m)</i>	
4 BAR				
32	2,0	0,205	100	TPE103204
40	2,4	0,290	100	TPE104004
50	3,0	0,450	100	TPE105004
63	3,8	0,720	100	TPE106304
75	4,5	1,005	100	TPE107504
90	5,4	1,405	50	TPE109004
5 BAR				
25	2,0	0,160	100	TPE102505
6 BAR				
20	2,0	0,120	100	TPE102006
25	2,3	0,165	100	TPE102506
32	3,0	0,270	100	TPE103206
40	3,7	0,425	100	TPE104006
50	4,6	0,655	100	TPE105006
63	5,8	1,035	100	TPE106306
75	6,8	1,415	50	TPE107506
10 BAR				
20	3,0	0,160	100	TPE102010
25	3,5	0,240	100	TPE102510
32	4,4	0,390	100	TPE103210
40	5,5	0,585	100	TPE104010
50	6,9	0,925	100	TPE105010
63	8,6	1,430	50	TPE106310

Tabla 60 Dimensiones de las abrazaderas.

Diámetro de la Tubería (mm)	Espesor de la abrazadera (mm)	Ancho de la abrazadera (mm)	Diámetro de la varilla (mm)
12 a 50	6,35 (1/4")	38	9,53 (3/8")
50 a 75	6,35 (1/4")	51	12,7 (1/2")
75 a 100	9,53 (3/8")	51	15,9 (5/8")
100 a 200	9,53 (3/8")	76	19,1 (3/4")
200 a 300	9,53 (3/8")	89	22,2 (7/8")

Tabla 61 Espaciamiento máximo entre Soportes para tuberías colgantes.

Material	Diámetro (mm)	Espaciamiento entre soportes (m)	
		Horizontal	Vertical
Hierro galvanizado	12	2,00	2,50
	18	2,50	3,00
	25	3,00	3,50
	32 a 50	3,50	4,00
	62 a 100	4,00	4,50
	Mayor de 100	4,50	5,00
Cobre	9,5	1,00	1,80
	12	1,10	1,80
	16	1,20	2,00
	19	1,30	2,20
	25	1,60	2,40
	32-38	1,70	3,00
	50	1,90	3,00
	62	2,30	3,00
	75	2,30	3,60
	89	2,60	3,80
	100	3,00	4,00
	Mayor de 100	3,40	4,00
PVC (1)	12	1,00	1,5
	18	1,25	1,8
	25	1,50	2,0
	32 a 50	2,00	2,5
	62 a 100	2,50	3,0
	Mayor de 100	3,00	3,5
Acero	10	1,5	Un soporte por piso
	15	1,7	
	20	1,9	
	25	2,1	
	32	2,4	
	40	2,5	
	50	2,8	
	65	3,1	
	80	3,4	
	100	3,8	
	125	4,1	
150	4,4	Un soporte cada 2 pisos	
	Menor de 25	0,91	Un soporte por piso
CPVC.	Mayor de 32	1,22	
	16	5,0	6,5
	25	6,0	7,8
	32	6,5	8,7
	40	7,5	9,7
PEAD	50	8,0	10,4
	63	9,0	11,7
	75	10,0	13,0
	90	11,0	14,3
	110	12	15,6
Hierro fundido y dúctil	12 - 20	2,0	Dos soportes por cada tubo
	25 - 100	3,0	
	> 100	4,5	
	Además	Dos soportes por cada junta	

Tabla 62 Catálogo Válvula de control

[1] Anillo de la tapa

El anillo ajusta la tapa al cuerpo de la válvula, para reforzarlo y facilitar el mantenimiento. Se ofrece una llave especial para abrirlo y cerrarlo.

[2] Adaptador del piloto

El adaptador del piloto permite conectar la miniválvula piloto o el relé hidráulico Galit al cuerpo de la válvula.

[3] Tapa

La sólida construcción de la tapa le otorga resistencia a las más duras condiciones de servicio. Otros tipos opcionales de tapas (3", DN80 y de menor tamaño) admiten la incorporación de un cierre manual + indicador de posición, y de un solenoide de 2 vías (Tipo eléctrico 2W-N1).

[4] Resorte (muelle) de cierre auxiliar

Un solo resorte de acero inoxidable de alto grado proporciona un amplio rango de operación, con una baja presión de apertura y un cierre asegurado.

[5] Conjunto del tapón

En el conjunto integral del tapón Flexible Super Travel (FST) se combinan el cierre positivo guiado de carrera larga, un diafragma con soporte periférico y la posibilidad de reemplazar el diafragma y la selladura de la válvula. El diafragma responde plenamente a los requisitos del rango de presiones de operación.

[5.1] Sujetador del diafragma

[5.2] Diafragma

[5.3] Tapón

[5.4] Junta (selladura) del tapón

[6] Cuerpo de la válvula hYflow en 'Y'

La construcción de nylon reforzado con fibra de vidrio es resistente a las más duras condiciones de trabajo, los efectos de las sustancias químicas y los riesgos por cavitación. El diseño de paso libre de extremo a extremo en la cavidad única, sin obstrucciones ni protuberancias, permite obtener una capacidad ultra-elevada de flujo con mínimas pérdidas de presión.

[7] Conexiones

Adaptables en el sitio a una amplia gama de tipos y tamaños:

[7.1] Bridas: "Corona" de plástico o metal con ranuras alargadas para distintas normas de bridas, ISO, ANSI y JIS.

[7.2] Rosca externa de adaptación de brida

[7.3] Roscas internas

[8] Adaptador de brida

Conexión de brida articulada que protege a la válvula contra los efectos de fuerzas y presiones en la tubería.

[9] Patas de soporte

Estabilizan la válvula y sirven también como accesorios de montaje.



Tabla 63 Catálogo Filtro
Filtro

CONFIGURACIÓN FILTRO	Conexión	Modelo	Conexión			Dimensiones		
			A	B	C	H mm in	W mm in	X mm in
	2"	2NR 2NA 2NV 2NW	BSP NPT RANURADA RANURADA	BSP NPT RANURADA BSP	BSP NPT BSP RANURADA	595 23.4	310 12.2	133 5.2
	2"Super	2SR 2SA 2SV 2SW	BSP NPT RANURADA RANURADA	BSP NPT RANURADA BSP	BSP NPT BSP RANURADA	720 28.3	310 12.2	133 5.2
	3"C	3CR 3CA 3CV 3CW	BSP NPT RANURADA RANURADA	BSP NPT RANURADA BSP	BSP NPT BSP RANURADA	610 24	336 13.2	147 5.8
	3"	3NR 3NA 3NV 3NW	BSP NPT RANURADA RANURADA	BSP NPT RANURADA BSP	BSP NPT BSP RANURADA	735 28.9	336 13.2	147 5.8
	4"	4NL 4NB	RANURADA BRIDA	RANURADA BRIDA	- -	950 37.4	341 13.4	- -
	4"Super	4SL 4SB	RANURADA BRIDA	RANURADA BRIDA	- -	1200 47.2	341 13.4	- -
	6"	6NB	BRIDA	BRIDA	-	1200 47.2	531 20.9	- -

Tabla 64 Catálogo Válvula de mariposa

FEOV/CE

ALVOLA A FARFALLA in PVC-U a comando elettrico

DN 40-100

PVC-U BUTTERFLY VALVE electrically actuated

DN 125-150

VANNE PAPILLON en PVC-U à commande électrique

DN 200

PVC-U ABSPERRKLAPPE mit Elektro-Antrieb

DN 200

d	DN	PN	B ₂	B ₇	T ₁	T ₂	T ₃	H	Z	A _{min}	A _{max}	f	U	g
50	40	16	60	253	92	189	91	132	33	93	109	19	4	2074
63	50	16	70	259	92	189	91	147	43	108	124	19	4	2254
75	65	10	80	266	92	189	91	165	46	128	144	19	4	2480
90	80	10	93	308	128	204	95,5	130	49	145	159	19	4	4000
110	100	10	105	322	128	204	95,5	150	56	165	190	19	4	4350
*125	125	10	121	425	-	-	-	185	64	204	215	23	4	8100
140	125	10	121	425	-	-	-	185	64	204	215	23	4	8100
160	150	10	132	438	-	-	-	210	70	230	242	23	4	8800
**200	200	10	161	485	-	-	-	325	71	280	298	23	8	11560
225	200	10	161	485	-	-	-	325	71	280	298	23	8	11560

FEOV d 140 con collari adattatori speciali d 125

* FEOV d 225 con collari adattatori speciali d 200

* FEOV d 140 with special adaptor stubs d 125

** FEOV d 225 with special adaptor stubs d 200

* FEOV d 140 avec spéciaux collets d'adaptation d 125

** FEOV d 225 avec spéciaux collets d'adaptation d 200

* FEOV d 140 mit besonderen Bundsbüchsen d 125

** FEOV d 225 mit besonderen Bundsbüchsen d 200

Tabla 65 Catálogo PLC

SIEMENS

Data sheet

6ED1052-2FB08-0BA1



Figure similar

LOGO! 230RCe, logic module, PS/I/O: 115 V/230 V/relay, 8 DI/4 DO, without display, memory 400 blocks, modularly expandable, Ethernet, integr. web server, data log, user-defined web pages, standard microSD card for LOGO! Soft Comfort V8.3 or higher, older projects executable cloud connection in all LOGO! 8.3 basic unit

Installation type/mounting	
Mounting	on 35 mm DIN rail, 4 spacing units wide
Supply voltage	
Rated value (DC)	Yes
• 115 V DC	Yes; 240 V DC
• 230 V DC	
permissible range, lower limit (DC)	100 V
permissible range, upper limit (DC)	253 V
Rated value (AC)	Yes
• 115 V AC	Yes; 240 V AC
• 230 V AC	
Line frequency	
• permissible range, lower limit	47 Hz
• permissible range, upper limit	63 Hz
Time of day	
Time switching clocks	
• Number	400; Max. 400, function-specific
• Power reserve	480 h
Digital inputs	
Number of digital inputs	8
Digital outputs	
Number of digital outputs	4; Relays
Short-circuit protection	No; external fusing necessary
Relay outputs	
Switching capacity of contacts	
— with inductive load, max.	3 A
— with resistive load, max.	10 A
EMC	
Emission of radio interference acc. to EN 55 011	
• Limit class B, for use in residential areas	Yes; Radio interference suppression according to EN55011, Limit Value Class B

Tabla 66

2.2.1 Conectar la alimentación

LOGO! 230R y LOGO! 230RC son adecuados para tensiones de red con valor nominal de 115 V y 230 V y para las frecuencias de red de 50 Hz ó 60 Hz. La tensión de red puede hallarse entre 85 V y 264 V. En caso de 230 V, LOGO! 230R/RC tiene un consumo de 26 mA.

LOGO! 24 y LOGO! 24R son adecuados para tensiones de alimentación de 24 V c.c. La tensión de alimentación puede hallarse entre 20,4 V y 28,8 V. En caso de 24 V, LOGO! 24R tiene un consumo de 62 mA y LOGO! 24 un consumo de 30 mA, así como la corriente adicional requerida para las salidas de hasta 4 x 0,3 amperios = 1,2 amperios (en LOGO! 24 las salidas son alimentadas a través de la tensión de alimentación de 24 V).

Tabla 67 Gabinete



GABINETE 20" PUERTA CON BISAGRAS Y CERRADURA EN2050 ON-Q

N.º de artículo 0098064

☆☆☆☆ 0 comentarios | [Escribir una revisión](#)

› [Vista previa de impresión](#)

Precio **€57 315,05** Después de impuestos

Disponibilidad **(IVA Incluido)** +



Tabla 68 Canaleta ranurada



CANALETA RANURADA LINA-25 40X25X2000mm LG636005 GRIS

N.º de artículo 0093778

☆☆☆☆ 0 comentarios | [Escribir una revisión](#)

› [Vista previa de impresión](#)

Precio **€9 048,87** Después de impuestos

Disponibilidad **(IVA Incluido)**

Cantidad +

Tabla 69 Pulsador



BOTON PULSADOR EXTENDIDO M22-DH-G VERDE MOELLER

N.º de artículo 0062730

☆☆☆☆ 0 comentarios | [Escribir una revisión](#)

› [Vista previa de impresión](#)

Precio **€6 224,16** Después de impuestos



Tabla 70 Interruptor termomagnético



INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO 1 POLOS RIEL DIN IEC-5SY41017CC 1A

N.º de artículo 0101044

☆☆☆☆☆ 0 comentarios | [Escribir una revisión](#)

[Vista previa de impresión](#)

Precio **€8 278,⁵⁵** Después de impuestos

Disponibilidad **(IVA Incluido)**

Cantidad

AÑADIR AL CARRITO [▶](#)

[▶ Añadir a la lista de deseos](#)

[▶ Enviar a un amigo](#)

[Comparar producto](#)

Tabla 71 Riel Din perforado



RIEL DIN PERFORADO XBANS3575P 35X7.5mm X 1m

N.º de artículo 0063141

☆☆☆☆☆ 0 comentarios | [Escribir una revisión](#)

[Vista previa de impresión](#)

Precio **€4 722,⁴⁶** Después de impuestos

Disponibilidad **(IVA Incluido)**

Cantidad

Tabla 72 Bornera



BORNE 4mm 10AWG 30A GRIS XBUT4

N.º de artículo 0062552

☆☆☆☆ 0 comentarios | [Escribir una revisión](#)

[Vista previa de impresión](#)

Precio **€625,03** Después de impuestos

Disponibilidad **(IVA Incluido)**

Cantidad

[AÑADIR AL CARRITO](#)

[Añadir a la lista de deseos](#)

[Enviar a un amigo](#)

Tabla 73 Bornera para tierra y Neutro



BORNE TIERRA 8MOD. FMM8T

N.º de artículo 0090083

☆☆☆☆ 0 comentarios | [Escribir una revisión](#)

[Vista previa de impresión](#)

Precio **€3 010,16** Después

Disponibilidad **(IVA Incluido)**

Cantidad

Tabla 74 Barra tierra

BORNE P/BARRA TIERRA 80-8035-2

N.º de artículo 0062528

☆☆☆☆ 0 comentarios | [Escribir una revisión](#)

› [Vista previa de impresión](#)

Precio **€1 541,⁴⁸** Después

Disponibilidad **(IVA incluido)**

Cantidad

