

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

AUTOMATIZACIÓN PARA SISTEMAS DE RIEGO LOCALIZADO
EN PLANTACIONES DE FLORES

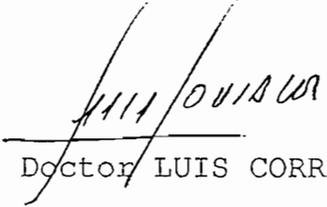
Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero
en Sistemas Eléctricos de Potencia

Bolívar H. Naranjo S.

Quito, Abril de 1997

CERTIFICO:

Que el presente trabajo ha sido
desarrollado en su totalidad por el
Sr. Bolívar H. Naranjo S.


Doctor LUIS CORRALES

DIRECTOR DE TESIS

DEDICATORIA:

A mi Dios por ser mi camino,
a mi Padre, Madre, Esposa e Hijas
que gracias a su apoyo he podido
culminar muchas de las cosas
que me he propuesto en la vida.

“

Capítulo 1.- INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes y Justificación	2
1.1.1 Alcances	3
1.1.2 Entorno	4
1.2 Sistemas de Riego	5
1.2.1 Automatización en el riego	6
1.2.1-1 Automatización por tiempos	8
1.2.1-2 Automatización por volúmenes	9
1.2.1-3 Automatización por humedad del suelo	10

Capítulo 2.- DISEÑO HIDRAÚLICO DEL SISTEMA DE RIEGO

2.1 Emisores, submatrices, matrices, filtrado, bombeo, fertilización, fumigación y sublimación	:119
2.1.1 Separación de los bloques en lotes	124
2.1.2 Líneas Terciarias	125
2.2.3 Reguladores de Presión	127
2.1.4 Líneas de Conexión	127
2.1.5 Aspersión Móvil	129
2.1.6 Cálculo de pérdidas	132
2.1.7 Estación de bombeo	135
2.1.8 Presiones de tuberías	136
2.1.9 Estación de filtrado	137
2.1.10 Inyección de fertilizantes	140
2.1.11 Fumigación	141
2.1.12 Sublimadores	143

2.2 Tiempos de Funcionamiento	145
-------------------------------------	-----

Capítulo 3.- DISEÑO ELÉCTRICO

3.1 Arrancador de bombas	148
3.2 Válvulas solenoides	156
3.3 Sublimadores	161

Capítulo 4.- DESARROLLO DEL SOFTWARE

4.1 Control de arranque de bombas	171
4.2 Control de apertura y cierre de válvulas	191
4.3 Control de encendido y apagado de sublimadores	201

Capítulo 5.- PRUEBAS Y RESULTADOS

5.1 Pruebas realizadas	207
5.2 Resultados Obtenidos	213

Capítulo 6.- CONCLUSIONES

6.1 Comentarios	214
6.2 Conclusiones	215

Anexo 1.- Sentidos de flujo

Anexo 2.- Lista de Materiales

Anexo 3.- Manual del Usuario

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

Desde hace algunos años atrás la agricultura a experimentado cambios gigantescos encaminados al máximo aprovechamiento de la tierra creándose diversidad de cultivos, y encaminándose siempre a la máxima producción con la mejor rentabilidad posible, y se ha procurado hacer llegar la producción al mercado internacional.

Se ha desarrollado entonces una alternativa altamente rentable, con la optimización máxima del terreno como es el cultivo de flores para exportación.

Al igual, y de la mano con la agricultura, los sistemas de riego necesarios para todo cultivo han ido evolucionando y perfeccionándose encontrándose ahora con sistemas que aprovechan al máximo la cantidad de agua existente y su aplicación con sistemas sofisticados que logran un rendimiento altísimo en comparación con sistemas tradicionales. Estos sistemas de riego son la microaspersión y el goteo que se conocen como riego localizado, que se basan en la idea de entregar a la planta el requerimiento de agua justo y necesario para su crecimiento y producción.

Para llegar a tener los requerimientos de agua necesaria en la planta se parte de un diseño agronómico, junto con el diseño hidráulica para determinar caudales y presiones necesarias. Según esto, se obtiene el tipo de emisor requerido, las líneas de riego, dimensión de válvulas a usarse, el diámetro y tipo de tuberías de conducción, tipo de bomba y motor a usarse, sistemas de filtrado, inyección de fertilizantes, sistemas de fumigación

requeridos, energización total del sistema con diversos tipos de control para seguridad y protección de los elementos eléctricos del sistema.

1.1 ANTECEDENTES y JUSTIFICACIÓN

Todos los sistemas de riego tradicionales son operados manualmente por personal muchas veces sin conocimientos técnicos y actuando empíricamente; esto es, recurriendo a su experiencia para determinar el momento oportuno para efectuar el riego. En la actualidad, el control de calidad que demandan los consumidores, generalmente foráneos, han determinado que en los sistemas de riego se tenga que mejorar la eficiencia en el manejo de todo el sistema.

La automatización del riego al que va encaminada esta tesis es llegar a manejar el sistema de una finca por medio de un microcomputador, con lo cual un técnico tendrá control sobre horarios de riego en los distintos lotes, precisión en la humedad requerida por la planta, fertilización, y fumigación en cantidades exactas, uniformidad en todo el sistema, control de fallas de operación en las distintas partes del sistema, consiguiendo con esto un avance hacia la modernización del sistema de riego localizado.

Los objetivos globales serían obtener altísima eficiencia con el menor personal posible, empleando la computación para lograr estos objetivos. Un microcomputador personal

automatizaría el sistema de riego en una plantación de flores brindando múltiples beneficios técnicos, económicos e, inclusive, ecológicos, ya que con la optimización del riego se aprovecharían al máximo recursos tan vitales como el agua, fertilizantes, fungicidas, etc.

1.1.1 Alcances

Un sistema de riego implica el control de varios parámetros, puesto que existen diferentes formas de regar las plantas, sea para su alimentación o para mantener la humedad del ambiente en valores apropiados para un desarrollo normal del producto. Los métodos de riego más comunes para el cultivo específico de rosas y gypsofilias son la microaspersión y el goteo. En el presente trabajo se pretende desarrollar un programa en lenguaje LabVIEW, que permita controlar automáticamente el sistema de riego, indistintamente del método que se emplee. Se utilizará, para la adquisición de datos, la tarjeta DAS-128, con la cual se ingresan los datos de los sensores de humedad del campo por medio de siete entradas análogas de la tarjeta. Las órdenes que da el computador se ejecutarán por medio de cinco puertos digitales de ocho bits cada uno, controlando 35 elementos que actúan en el campo. Además, se utilizará una entrada análoga para controlar el caudal de riego, y se declarará como fallas, si el caudal es menor o mayor a un rango determinado.

Puesto que los costos de reproducir las instalaciones de una finca de cultivo intensivo de rosas son extremadamente grandes, y debido a que las empresas dedicadas al negocio de la producción y exportación de flores no dan cabida a programas de auspicio para tesis de grado, ya que para ellos es mucho más conveniente y rentable el comprar la tecnología una vez que ya está desarrollada debido a que para ellos el tiempo y economía es lo más importante, en la presente tesis se pretende llegar a controlar un prototipo de sistema de riego. Prototipo en lo que a cantidad y variedad de elementos electromecánicos se refiere.

Llegándose a controlar, por medio del programa en el computador los funcionamientos normales de riego, fertilización, filtrado, retrolavado, fumigación, y sublimación así como el control de fallas que se pudiesen presentar en el sistema.

1.1.2 Entorno

Para el desarrollo de este sistema de automatización, se ha tomado el caso real de una plantación que está formándose con aproximadamente 5 Hectáreas de rosas en la Provincia de Pichincha en el sector de Puembo, la empresa floricultora es Expo-Flor. Se tienen los datos reales del terreno, su plano topográfico, además de su plano de disposición de bloques y lotes según los estudios realizados por su técnico agrónomo, esto lo podemos ver en la Figura 1.1.

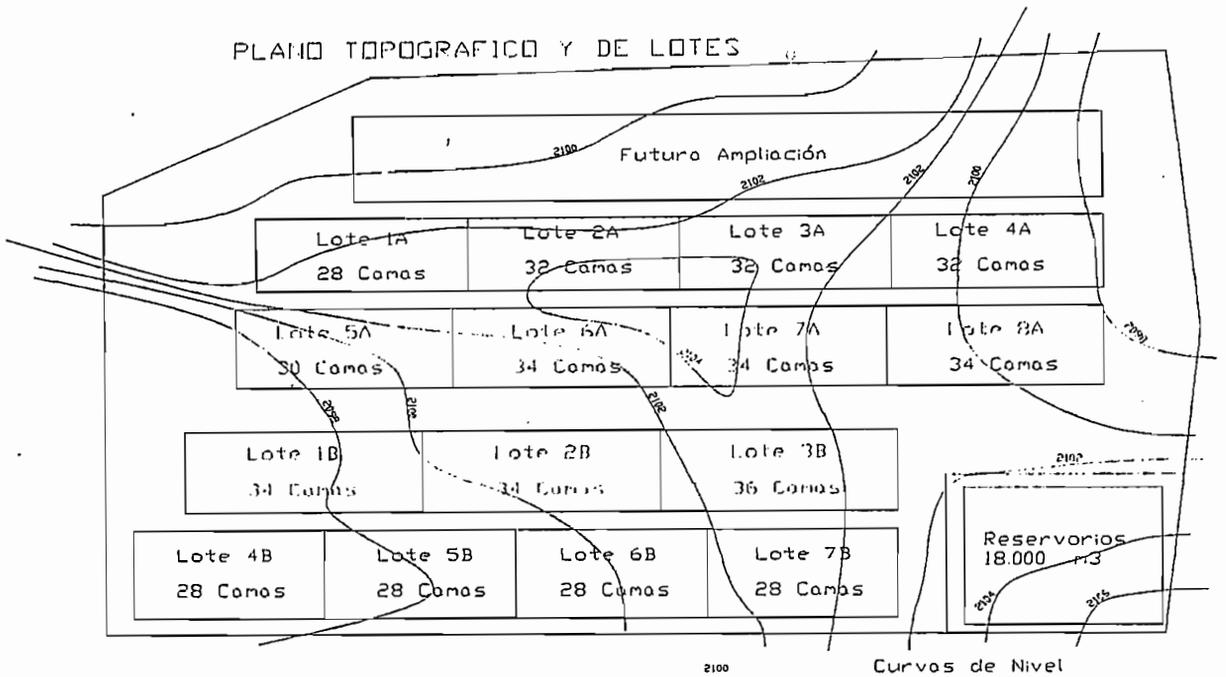


Figura 1.1.- Plano Topográfico de la plantación Expo-Flor

1.2 SISTEMAS DE RIEGO

Los estudios de investigación que se realizará en torno al tema parten de los aspectos agronómicos que estudian el campo y descubren tanto las necesidades de agua de las plantas y otros aspectos como la salinidad del suelo, técnicas de recuperación, calidad de las aguas, el abonado, etc. Se continúan con investigaciones hidráulicas para saber de los sistemas de riego óptimos utilizados en la actualidad, los parámetros para escoger el mejor sistema que esté de acuerdo a las necesidades particulares del sistema en estudio tanto en el aspecto técnico de eficiencia en el riego, como en el aspecto económico para que el sistema no llegue a un costo elevado. Se identificarán luego los distintos materiales que pueden requerirse en un sistema de este tipo.

Se comenzará con los emisores finales, las tuberías de conducción y las estaciones de bombeo y filtrado, pasando por distintos aparatos tanto de medida como de regulación etc. Se continuará con los estudios eléctricos para diseñar los arrancadores de las bombas, las conexiones de las electroválvulas, las conexiones de los sublimadores etc. Finalmente, se desarrolla, dentro del programa LabView, el método óptimo para automatizar las funciones requeridas y comunicar de la mejor forma con el interface tanto en la adquisición de datos como en el envío de órdenes, teniendo opción a tres formas de ejecutar los procesos:

- automatización por tiempos dados por el usuario
- automatización según rango de humedad del campo

1.2.1 Automatización en el riego

Varias razones hacen a los riegos localizados de alta frecuencia RLAF muy indicados para ser operados automáticamente: las redes de riego son fijas, (a diferencia de muchos sistemas de aspersión), los caudales son bajos y las unidades de riego, (superficies regadas simultáneamente), son relativamente grandes. Muchos factores ambientales, como el viento, no afectan al funcionamiento, al menos en algunas variantes de los RLAF. Finalmente, el riego no interfiere con la mayoría de las labores agrícolas.

Las ventajas de la automatización, por otro lado, son muy variadas, dependiendo del grado de automatización instalado:

1. Aunque en principio no tiene porque mejorar la calidad del riego, en la práctica acaba brindándole un mejor control de la frecuencia y dosis de riego.
2. Ahorra trabajo manual y permite mayor flexibilidad en la programación de las labores agrícolas.
3. No sólo permite programar el riego, sino algunas operaciones ajenas, como fertirrigación, limpieza de filtros, fumigación, sublimación, etc.
4. Puede suponer un ahorro en instalaciones (tuberías, bombas, etc.) y en el costo de funcionamiento, consumiendo energía eléctrica en las horas de menor costo.
5. Puede controlar algunas situaciones desfavorables como averías en la red, bombas trabajando en seco, etc.
6. Permite la aplicación de riego a pulsos.
7. Permite programar el riego en función de la humedad del suelo, temperatura del aire, evaporación, viento, etc.

8. Facilita el registro de datos.

La automatización puede hacerse tomando en consideración tres factores:

- Por tiempos, por volúmenes, por humedad del suelo.

1.2.1-1 Automatización por tiempos

En este método hay que calcular la duración del riego en función de la dosis necesaria, caudal de los emisores y número de emisores por planta. La duración es la misma para cada unidad de riego, independientemente de su superficie.

La automatización por tiempos emplea dos elementos: electroválvulas y programadores eléctricos. Los programadores eléctricos son unos instrumentos que llevan un reloj que se hace coincidir con la hora real y que, por medio de dispositivos que varían según los modelos, cierra y abre unos circuitos eléctricos a las horas que se señalen en la esfera del reloj. Estos circuitos accionan los solenoides de las electroválvulas, que suelen ser normalmente cerradas, y se mantienen abiertas mientras reciban la señal eléctrica.

Los programadores eléctricos existen en modelos muy variados. Suelen permitir intervalos mínimos de 15 ó 30 minutos, aunque los hay de un minuto. Con algunos modelos sólo es posible programarlos para un período de 24 horas, lo ordenado

para ese período se repite cada día. En otros modelos se puede realizar una programación semanal, quincenal, etc.

1.2.1-2 Automatización por volúmenes

En este método se va midiendo el agua aplicada en cada riego y cuando se alcanza el volumen necesario, se interrumpe automáticamente el paso de agua. Con ello se evita el inconveniente de la programación por tiempos donde puede darse que la dosis de riego no coincida con lo calculado. En la automatización por volúmenes se pueden conseguir varios niveles:

Nivel 0. Se realiza el riego abriendo y cerrando manualmente las válvulas de paso de cada unidad; un contador indica el momento del cierre. Este nivel equivale realmente a una ausencia de automatización.

Nivel 1. Cada unidad dispone de una válvula volumétrica, que se abre manualmente. Cuando ha pasado la cantidad de agua marcada en el dial de la válvula, ésta se cierra automáticamente. A continuación se abre manualmente la válvula de otra unidad y así sucesivamente.

Nivel 2. Riego secuencial con válvulas volumétricas.

Nivel 3. Riego con programación electrónica por volúmenes.

El mayor perfeccionamiento en la automatización por volúmenes se consigue mediante el empleo de computadoras de riego. La instalación se basa en tres elementos fundamentales:

- Contadores de agua dotados de algún sistema de transmisión de datos.
- Programador de riego.
- Electroválvulas.

1.2.1-3 Automatización por humedad del suelo

Ya se han señalado las ventajas que sobre la automatización por tiempos presenta la que se hace en función de los volúmenes aplicados, pero también esta última está sujeta a inexactitudes ya que se basa en la estimación de las necesidades de las plantas. Aún admitiendo que dicha estimación sea correcta, corresponde a unos valores medios, y desde luego no puede prever las variaciones que se producen a diario con parámetros tales como temperatura, viento, radiación, etc.

A partir de la década de los 70 se empezaron experiencias que pretenden automatizar las operaciones de riego en función de esos parámetros o de otros que tienen una relación más inmediata con la absorción de agua por las plantas. Los dos parámetros más frecuentemente utilizados han sido la evaporación y el potencial hídrico del suelo. En el primer caso, sensores colocados en un tanque evaporimétrico suministran una información que en combinación con la de los pluviógrafos, permiten calcular la evaporación y precipitación diarias; en función de esos datos el programador calcula las dosis de riego

y acciona las correspondientes electroválvulas para la aplicación del riego así calculado.

La automatización del riego en función del potencial del agua del suelo se presenta en principio como una técnica muy prometedora, y se hacen investigaciones en base a las medidas de tensiómetros que operen satisfactoriamente.

A veces la automatización no tiene por objeto el programar el riego en condiciones normales, sino prever situaciones infrecuentes. Este es el caso del accionamiento del riego en presencia de heladas, la detención ante una lluvia superior a un mínimo, la suspensión de la microaspersión con fuertes vientos, etc.

CAPÍTULO 2

DISEÑO HIDRÁULICO DEL SISTEMA DE RIEGO

En este capítulo se hace un resumen de los parámetros agrícolas que intervienen en el cultivo de las plantas, para llegar al cálculo de sus necesidades de agua, dependiendo de la retención de agua por el suelo, su potencial hídrico, su potencial mátrico, etc., que son herramientas necesarias para el diseño hidráulico del sistema de riego.

Relaciones suelo-agua-planta

El suelo proporciona un anclaje mecánico a las plantas y es el medio en que se almacenan el agua y el oxígeno que absorben las raíces. La fracción coloidal (elemento constitutivo de la planta) interviene en el fenómeno de intercambio de cationes y constituye un depósito de nutrientes. Además, el suelo contiene una población microbiana y pequeños animales como insectos, nemátodos, etc., cuya actividad afecta a las propiedades físicas y químicas del suelo. De todas esas funciones, las que mas interesan a efectos de riego son, naturalmente, las relaciones suelo-agua. Se describirá la retención del agua por el suelo y el movimiento de ese líquido a través de suelos no saturados, lo que servirá de apoyo para una serie de cuestiones agronómicas y de diseño a tratar en capítulos posteriores.

Retención de agua por el suelo

Contenido de agua en el suelo

El suelo está constituido por tres fases : sólida, líquida y gaseosa. La fase sólida se compone de partículas minerales y

de materia orgánica; esta última representa un pequeño porcentaje salvo en el caso de suelos orgánicos. El espacio no ocupado por la fase sólida constituye los poros del suelo, que están ocupados por las fases líquida y gaseosa.

Se denomina densidad aparente, y se representa por (d_a), al cociente de dividir la masa de un suelo seco (M_s), por el volumen del suelo (V_t). Puede variar entre 0.7 g/cm^3 en caso de suelos volcánicos y 1.8 g/cm^3 en suelos arenosos. Para un mismo suelo varía en función de su compactación. La densidad real (d_r) es el cociente de dividir la masa de un suelo seco por el volumen ocupado por las partículas sólidas (V_s). La densidad real de los suelos es casi constante e igual a 2.6 g/cm^3 , pero ese valor disminuye cuando abunda la materia orgánica.

$$d_a = M_s / V_t \qquad d_r = M_s / V_s \qquad (1)$$

Al volumen ocupado por los poros del suelo se llama porosidad total o simplemente porosidad. Se expresa como un porcentaje o un tanto por uno del volumen total del suelo; por tanto no tiene dimensiones. Se designa por la letra θ y su valor viene dado por la fórmula:

$$\theta = 100(1 - d_a / d_r)$$

La porosidad de los suelos minerales varía entre 25 y el 60 por 100, pero normalmente esté comprendida entre el 40 y el 50

por 100. En suelos con alto contenido en materia orgánica puede superar el 90 por 100.

Los poros del suelo están ocupados por agua y por aire, en proporciones variables según el estado de humedad. Cuando todos los poros están ocupados por agua, se dice que el suelo está saturado. Existen otros estados de humedad con denominaciones particulares como "capacidad de campo" y "punto de marchitez", que serán descritos más adelante.

El contenido de agua de un suelo se puede expresar de varias maneras:

$$\Theta_g(\text{humedad gravimétrica en \%}) = M_{ag}/M_s \cdot 100$$

$$\Theta_v(\text{humedad volumétrica en \%}) = V_{ag}/V_t \cdot 100$$

donde:

M_{ag} = masa de agua

M_s = masa de suelo seco

V_{ag} = volumen de agua

V_t = volumen total o aparente del suelo

Recordando la definición de densidad aparente (1) se obtiene la siguiente relación entre las humedades gravimétricas y volumétricas:

$$\Theta_v = \Theta_g * d_a$$

El volumen de poros ocupado por el aire se denomina espacio aéreo y se representa por " E_a ". Por definición:

$$E_a = \varepsilon - \Theta_v$$

En la técnica del riego y drenaje es muy práctico expresar el contenido de agua del suelo en forma de altura o lámina de agua, es decir, de volumen por unidad de superficie. Las unidades más frecuente son el m³/ha (metro cúbico por hectárea) y el mm (milímetro de agua), entre las que existe esta relación:

$$1 \text{ mm} = 10 \text{ m}^3/\text{ha}$$

La altura de agua (h), la humedad volumétrica (Θ_v) y la profundidad del suelo (p) están relacionados por la expresión:

$$h = \Theta_v \cdot p / 100$$

Potencial hídrico del suelo

Desde el punto de vista de la extracción por las plantas del agua del terreno, más que el contenido de humedad interesa conocer la energía con que el agua es retenida por la planta.

El agua del suelo está sometida a la acción de una serie de factores que tienden a retenerla o a expulsarla. El potencial hídrico del suelo se puede considerar como "la cantidad de trabajo que es preciso aplicar para transportar reversible e isotérmicamente la unidad de cantidad de agua desde una situación estándar de referencia hasta el punto del suelo considerado".

El potencial hídrico del suelo, que se suele representar por la letra Ψ :

$$\Psi = \Psi_m + \Psi_o + \Psi_g + \Psi_p$$

Teniendo cuatro componentes:

Ψ_m = Potencial mátrico

Ψ_o = potencial osmótico

Ψ_g = potencial gravitacional

Ψ_p = potencial de presión

El potencial gravitacional depende de la altura geométrica del punto considerado respecto al plano de referencia.

El potencial de presión sólo se presenta en el caso de suelos saturados, y corresponde a la presión ejercida sobre el punto considerado por el agua que satura el suelo. Este componente del potencial es el fundamental en los problemas de drenaje subterráneo.

El potencial mátrico (Ψ_m) es el generado por los mecanismos de retención de agua por el suelo (adhesión y cohesión). Debe su nombre a que las fuerzas que crean este potencial son las asociadas a la matriz del suelo. Su valor es siempre negativo, ya que la presión que origina se opone a la expulsión del agua del suelo. Cuanto más seco está un terreno, más bajo es el potencial mátrico y mayor es la presión que habría que aplicar para extraer el agua del suelo.

El último componente del potencial hídrico del suelo es el potencial osmótico. El agua del suelo es una solución salina y por tanto puede dar lugar al fenómeno de ósmosis: cuando dos

soluciones de distinta concentración están separadas por una membrana semipermeable, se produce un movimiento del agua desde la solución más diluida a la más concentrada. La presión que origina este movimiento es la presión osmótica, que equivale en magnitud al potencial osmótico.

Es muy importante recordar que las diferencias de potencial osmótico sólo afectan al movimiento del agua en presencia de una membrana semipermeable. Este es el caso de las raíces de las plantas: el conjunto de las células de la corteza de la raíz actúa como una membrana semipermeable que separa dos soluciones: a un lado la solución del suelo y al otro la del xilema. Cuando la solución del suelo tiene un alto contenido en sales, las plantas deben realizar un esfuerzo suplementario par absorber agua, superando la presión osmótica que se crea entre ambos lados de la corteza radicular.

Propiedades del suelo que afectan a la retención del agua

Textura

Al estudiar los mecanismos de la retención de agua se ha visto que se trata de un fenómeno de superficie. Para un mismo peso de suelo, las arcillas presentan una superficie mucho mayor que las demás partículas minerales; 1 gramo de arena gruesa puede tener una superficie de 1.000 cm² mientras que el mismo peso de arcilla puede alcanzar los 800 m². Por tanto, la textura, es decir, la cantidad relativa de arena, limo y arcilla influye de forma muy importante en la capacidad de retención de

agua de los suelos. Otra causa de que los suelos arcillosos retengan más agua es que las micelas de arcilla presentan cargas negativas, debido a la sustitución de iones de aluminio y sílice por otros cationes de menor valencia. Esas cargas negativas se unen al polo positivo de las moléculas de agua, estableciendo un puente de hidrógeno.

Estructura

Las partículas de arena, limo y arcilla del suelo pueden unirse entre sí formando agregados y creando una estructura en el suelo. Los suelos con buena estructura tienen una mayor porosidad y por tanto a saturación, esto es cuando no pueden recibir más agua, ($\Psi_m=0$).

Histéresis

Para un mismo valor de Ψ_m , la humedad del suelo es mayor durante el proceso de desecación que durante la humectación, este fenómeno se denomina histéresis.

El estudio de las relaciones suelo-agua se hace para conocer el comportamiento del conjunto frente a la absorción hídrica del sistema radicular, y el valor que interesa es el correspondiente al desecado.

Medidas del potencial mátrico

La medida del potencial gravitacional y del de presión no presenta dificultad. El potencial osmótico se puede medir por

crioscopia o mediante su relación con la Conductividad Eléctrica (CE). Se verán ahora los procedimientos de medida del potencial mátrico que es el de más interés desde el punto de vista del aprovechamiento por las plantas de la humedad del suelo.

Para determinar el potencial mátrico del suelo se utilizan distintos aparatos, ninguno de los cuales lo mide directamente, siendo preciso efectuar algunas correcciones a las lecturas directas. Entre estos aparatos los de más frecuente uso son:

Tensiómetros, que miden la suma del potencial mátrico y el gravitacional ($\Psi_m + \Psi_g$).

Bloques de yeso, que miden la suma del potencial mátrico y el osmótico ($\Psi_m + \Psi_o$).

Menos divulgado está el uso de los sincrómetros de termopar, que igualmente miden ($\Psi_m + \Psi_o$).

Tensiómetros

Existen dos tipos de tensiómetros, los de manómetro y los de mercurio. Un tensiómetro de manómetro, como el que se ilustra en la Figura 2.1 consiste de un tubo en cuyo extremo inferior se coloca una cápsula cerámica porosa y en el superior, herméticamente cerrado, un manómetro de vacío.

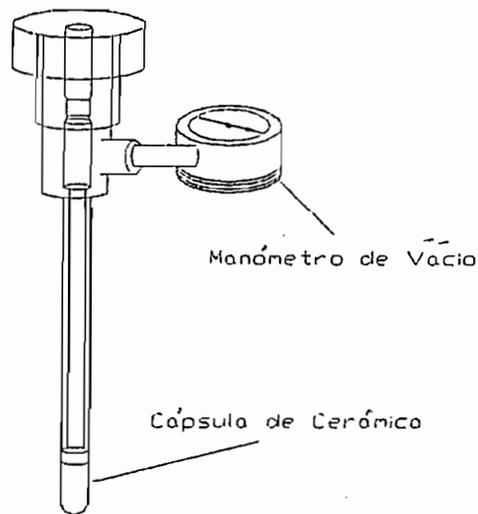


Figura 2.1.- Tensiómetro de Manómetro

El tensiómetro se llena de agua y se introduce en el terreno, colocando la cápsula a la profundidad del perfil a medir. El que la cápsula sea porosa permite que el agua salga de ella o entre, lo que hace que al cabo de un cierto tiempo se establezca el equilibrio entre el agua del interior de la cápsula y el agua del suelo. Cuando éste se seca succiona agua de la cápsula provocando una presión negativa que es indicada por el manómetro. Si la humedad del suelo aumenta, pasa agua del suelo a la cápsula, disminuyendo el valor absoluto de la presión del manómetro.

Cuando el manómetro marca cero existe agua libre (no retenida) en el suelo. Cuando más seco esté el suelo mayor será la presión. Teóricamente se puede medir hasta $1 \text{ atm} = 1 \text{ bar}$, pero en la práctica, por encima de 0,8 bares el aire empieza a entrar en la cápsula. En la Figura 2.2, se puede visualizar la posición que debe tener el Tensiómetro en el suelo.

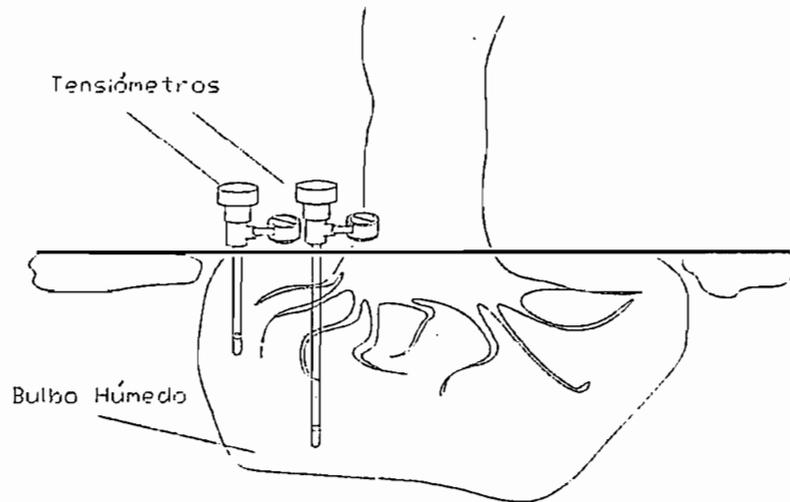


Figura 2.2.- Posiciones del Tensiómetro

El tensiómetro no mide directamente el potencial mátrico del suelo. Cuando se alcanza el equilibrio, el potencial hídrico Ψ será igual en los puntos del manómetro y de la cápsula en el suelo. Por tanto:

$$\Psi_1 = \Psi_2$$

Si se toma como plano de referencia el del punto superior, el valor de Ψ_1 es igual a la lectura del manómetro, con signo negativo ya que el manómetro mide presiones negativas. El Ψ_2 del suelo será:

$$\Psi_2 = \Psi_m^2 + \Psi_g^2$$

El potencial gravimétrico del punto 2 es igual a -1 ; por tanto:

$$\Psi_1 = \Psi_2 = \Psi_m^2 - 1$$

$$\Psi_m^2 = 1 + \Psi_1$$

y recordando que $\Psi_1 = -$ lectura del manómetro, se obtiene la siguiente norma práctica:

- potencial mátrico del suelo = longitud del tensiómetro - lectura del manómetro

El rango de funcionamiento de un tensiómetro es de 0 a -80 cb. Para la mayoría de los cultivos la humedad óptima del suelo se encuentra en este intervalo. Se lo puede utilizar para:

- Determinar el momento y la dosis óptima de riego. Un perfeccionamiento de esto es la posibilidad de automatizar el riego en función del potencial del suelo: cuando la humedad desciende hasta el valor que no se debe superar, se activan las bombas o electroválvulas que inician el riego.
- Determinar fluctuaciones en la capa freática.
- Conocer los momentos en que predomina la infiltración (movimiento descendente) o la capilaridad (movimiento ascendente), con toda su secuela de aplicaciones para el manejo del régimen de agua y de sales.
- Medir la actividad en los distintos puntos de la zona radicular.

En los tensiómetros de mercurio la presión negativa no se mide en un manómetro de vacío, sino por la elevación que provoca

en una columna de mercurio. Para transformar esa elevación en cm de columna de agua, hay que multiplicar los cm de mercurio por la densidad de éste, 13,6.

Estados de humedad del suelo

Saturación

Se dice que un suelo está saturado cuando todos sus poros están llenos de agua. Esta situación se puede presentar cuando a cierta profundidad existe un estrato impermeable, cuando el drenaje es demasiado lento, etc. Si se permite que un suelo saturado drene libremente, el contenido en agua comienza a descender vaciándose primero los poros más grandes, que son ocupados por el aire. El agua así eliminada se denomina agua libre o gravitacional; no es retenida por el suelo. Por tanto, en el estado de saturación el potencial mátrico de un suelo es cero.

Capacidad de campo y Macroporosidad

Si el drenaje continúa llega un momento en que el suelo no pierde más agua. En este estado se dice que el suelo está a capacidad de campo (C.c.): los poros más pequeños retienen el agua contra la fuerza de la gravedad y los poros mayores están en buena parte ocupados por aire. Esta situación es muy favorable para el desarrollo de los cultivos, que encuentran en el suelo agua abundante retenida con una energía que es fácilmente superada por la de succión de las raíces al mismo

tiempo que el suelo está suficientemente aireado para permitir la respiración radicular.

El estado de capacidad de campo permite clasificar los poros en grandes y pequeños, también llamados macroporos y microporos: los grandes son los que en ese estado están vacíos de agua. Tal criterio de distinción no se corresponde muy bien con lo que ocurre en la realidad, ya que incluso a contenidos muy bajos de humedad los macroporos tienen un cierto contenido de agua en forma de película adherida a la superficie de las partículas sólidas. Sin embargo esa clasificación de los poros es de mucha aplicación a numerosos problemas de ingeniería. La porosidad total (ϵ) se puede considerar como la suma de la porosidad debida a los poros grandes, que se llama macroporosidad y se representa por μ y la porosidad debida a los pequeños llamada microporosidad que, como se ha visto, es el contenido de humedad del suelo a capacidad de campo, por lo que se representa por C.c.

$$\epsilon = \mu + \text{C.c.}$$

La capacidad de campo es un estado definido imprecisamente, sobre todo porque el momento en que el suelo inicialmente saturado deja de perder agua es un momento poco preciso: al principio el drenaje es muy rápido, pero después comienza una fase de drenaje lento que puede durar hasta 15 días. En la definición tradicional de capacidad de campo se admite que ese estado se alcanza dos o tres días después de comenzado el

drenaje (lo cual es inexacto en algunos suelos) a lo que corresponde un potencial mátrico de -100 a -200 cm.

Como se ha dicho, en la capacidad de campo intervienen mucho más los microporos que los macroporos; en consecuencia es una propiedad que depende más de la textura que de la estructura y por tanto se puede determinar en muestras alteradas. Es, por otra parte, una característica que se determina mejor en suelos de textura gruesa, ya que en ellos los macroporos se vacían pronto y el momento final del drenaje rápido es más evidente.

Punto de marchites

El contenido en agua puede descender por debajo de la capacidad de campo como consecuencia de la evaporación y de la transpiración de las plantas. La película de agua que rodea a las partículas se hace cada vez más fina y a medida que el contenido de humedad disminuye, se hace más difícil la absorción de agua por las raíces, hasta que se alcanza un estado denominado Punto de marchites (P.m.), que se caracteriza porque las plantas absorben el agua del suelo con mucha dificultad y experimentan marchites irreversible.

La marchites no depende sólo de la humedad del suelo, ya que intervienen también las condiciones meteorológicas, densidad de raíces, condiciones osmóticas de la solución del suelo, etc.

Sin embargo, numerosas mediciones han mostrado que ese estado corresponde a un potencial mátrico comprendido entre -10 y -20 bares, con un valor medio aproximado de -15 bares. Al igual que

la capacidad de campo, el punto de marchites depende más de la textura que de la estructura y se puede medir en muestras alteradas.

Agua útil

Se ha visto los defectos e imprecisiones de los conceptos capacidad de campo y punto de marchites. Sin embargo, independientemente de la dificultad de su determinación, tienen un gran significado agronómico, ya que representan los límites máximo y mínimo de la humedad del suelo que puede ser utilizada por los cultivos; la cantidad de agua comprendida entre esos dos valores se define como Agua útil (A.u.).

La humedad correspondiente a los estados de capacidad de campo (C.c.) y punto de marchites (P.m.) y el agua útil (A.u.) se puede expresar en términos de humedad gravimétrica o volumétrica; en cualquier caso se cumple:

$$A.u. = C.c. - P.m.$$

Flujo de agua en el suelo

El estudio del flujo de agua a través del suelo es de la mayor importancia para muchos problemas de ingeniería y concretamente para el riego y drenaje agrícola. Además de un conocimiento cualitativo, uno de los principales objetivos de la ciencia del suelo es expresar dicho flujo por medio de fórmulas cómodas de manejar y, sobre todo, en las que intervengan datos fáciles de obtener.

En el caso de flujo de agua en suelos saturados, es decir, en los típicos problemas de drenaje, la cuestión es mucho más sencilla debido principalmente a que el valor de la conductividad hidráulica (K) se mantiene constante a efectos prácticos. La técnica ha desarrollado unos métodos de medida de K que no requieren instrumentos sofisticados y unas fórmulas cuyo manejo es práctica frecuente entre ingenieros. No se pueden considerar totalmente resueltos estos problemas, pero si han superado el nivel de utilidad definido por el hecho de que se pueden utilizar en los proyectos de obras e instalaciones de drenaje.

El flujo de agua en suelos no saturados es el caso típico de los problemas de riego en cualquiera de sus variantes (gravedad, aspersión o riego localizado). Por tanto el conocimiento cuantitativo de ese flujo es del mayor interés. En el caso concreto de riegos localizados permitiría calcular las dimensiones del bulbo húmedo, es decir, del volumen de suelo mojado por un emisor de riego y en función de esas dimensiones proyectar una serie de elementos fundamentales en las instalaciones de riego, tales como:

- Número de emisores por planta y espaciamiento entre ellos.
- Caudal por emisor.
- Dimensionamiento de las tuberías y demás elementos, así como determinar las magnitudes más importantes para las

operaciones de riego como duración del mismo, turnos, etc.

Sin embargo este objetivo está muy lejos de haberse conseguido. Una primera dificultad aparece en los modelos matemáticos: las ecuaciones diferenciales a que se llega no son de fácil integración y las condiciones límites son difíciles de establecer. Otra dificultad reside en que en las fórmulas intervienen características del suelo difíciles de medir, como, por ejemplo, el valor de la conductividad hidráulica en función de la humedad del suelo por debajo de saturación, cuya medida requiere el manejo combinado de una batería de tensiómetros y una sonda de neutrones. Numerosas investigaciones se desarrollan persiguiendo este objetivo. Sin embargo no se ha conseguido un modelo cuyo uso sea práctico a nivel de diseño: éste continúa haciéndose calculando la extensión del bulbo húmedo a partir de unas tablas empíricas cuyos datos de partida rara vez coinciden con los del problema concreto a resolver, o mejor mediante experimentación, lo que sin duda es el método ideal pero que no siempre es factible de ser realizada, a pesar de su simplicidad.

En un suelo saturado el flujo de agua está regido por la ley de Darcy, cuya expresión matemática es:

$$v = -K \cdot \text{grad}\psi$$

donde v es la velocidad del agua, K es una constante para cada tipo de suelo denominada conductividad hidráulica (o impropriamente, permeabilidad) y $\text{grad}\Psi$ es el gradiente del potencial, es decir, la variación de Ψ respecto a la distancia.

El signo menos indica que el agua se mueve en el sentido de los potenciales decrecientes. En el caso de suelo saturado el potencial mátrico es nulo y el movimiento del agua está gobernado por los potenciales gravimétricos y de presión.

En suelos no saturados se presentan dos diferencias importantes:

1.- El potencial de presión es nulo, por lo que el movimiento del agua está gobernado por los potenciales gravimétricos y mátrico. Las fuerzas que originan el potencial mátrico, es decir, las de adhesión y cohesión, son de una magnitud muy superior a la gravedad excepto si el contenido de humedad es muy alto, por lo que, salvo en suelos muy húmedos, el agua se mueve según gradientes de potencial mátrico.

2.- La conductividad hidráulica K de la fórmula de Darcy ya no es constante, sino que depende del contenido de humedad Θ del suelo. Cuanto menor es el espesor de la película de agua que rodea las partículas, menor es la sección por lo que se mueve el agua, y el camino de ésta se hace más tortuoso. En consecuencia menor es el valor de K . Este hecho establece una diferencia entre el comportamiento de la arena y la arcilla según que estén saturados o no: a saturación, las arenas presentan un K mayor, debido a que poseen mayor número de macroporos interconectados;

en cambio, en condiciones de no saturación, los suelos con mayor porcentaje de macroporos disminuyen su K con más rapidez al disminuir la humedad, hasta que para un cierto valor de Θ , la $K(\Theta)$ de las arcillas supera a la de las arenas. Esto explica que una capa de material más grueso entre dos de suelo más fino pueda constituir una barrera al flujo no saturado y justifica que la experimentación en arenas no siempre se pueda aplicar a otros tipos de suelo.

La ley de Darcy se puede ampliar al caso de no saturación:

$$v = -K(\Theta) \cdot \text{grad}\Psi$$

donde ahora $K(\Theta)$ no es constante.

Bajo movimiento unidimensional, la anterior ecuación es:

$$v = -K(\Theta) \delta\Psi/\delta x$$

La dificultad de cuantificar esta expresión reside en conocer cómo varía K en función de Θ . Matemáticamente el problema se simplifica mediante la introducción de un nuevo término, la difusividad hidráulica $D(\Theta)$, que se define así:

$$D(\Theta) = K(\Theta) \delta\Psi/\delta\Theta$$

con lo que la ecuación queda:

$$v = -D(\Theta) \delta\Theta/\delta x$$

- 2.- Dificultad de conocer la variación del $D(\Theta)$ en función de Θ .
- 3.- Dificultad de establecer los límites de integración.

En el riego localizado se producen dos fases: la primera consiste en un proceso de infiltración y la segunda redistribución del agua en el suelo.

El potencial hídrico en las plantas

El agua es el principal componente de las plantas, en algunos de cuyos órganos representa más de 90 por 100 en peso. Actúa como disolvente y medio de transporte de gases, minerales y otras sustancias esenciales para la vida vegetal y es asimismo un reactivo de procesos fundamentales, como la fotosíntesis. Pero desde el punto de vista de la tecnología del riego lo que interesa es conocer el movimiento del agua en el sistema suelo-planta-atmósfera y sobre todo dos cuestiones prácticas: el momento óptimo de riego y las necesidades hídricas de los cultivos.

La teoría del potencial hídrico se puede aplicar al agua que contienen las plantas en sus diferentes órganos. Al igual que en el caso del suelo, el agua de las plantas está sometida a un potencial que es la suma algebraica de cuatro componentes.

$$\Psi = \Psi_g + \Psi_m + \Psi_p + \Psi_o$$

Los potenciales gravimétrico (Ψ_g), mátrico (Ψ_m) y osmótico (Ψ_o) tienen el mismo significado que en el suelo. Además el Ψ_o sólo se manifiesta en presencia de una membrana semipermeable, situación que se presenta en la absorción del agua del suelo por las raíces.

Los componentes del potencial presentan magnitudes diferentes en los distintos órganos de las plantas. El potencial gravimétrico es despreciable, salvo en el caso de árboles muy altos. El potencial mátrico, que siempre es negativo, es un componente de magnitud reducida en la mayoría de las plantas cultivadas. Solamente alcanza valores elevados en la pared celular; en el xilema, a través de cuyos vasos se produce el transporte del agua, el Ψ_m es prácticamente nulo.

El potencial osmótico es igualmente siempre negativo, y cuando se manifiesta (en presencia de membranas semipermeables) obliga a aplicar una energía extra para la extracción del agua.

Su valor es muy pequeño en el xilema, pero es el principal componente en las vacuolas.

En cuanto al potencial de presión ya se ha indicado cómo en la célula viva puede ser positivo (turgencia) o nulo (marchites).

Movimiento del agua en la planta

En su recorrido a través de la planta, el agua se dirige desde el suelo hasta la atmósfera. La última fase de ese movimiento se produce en los estomas de las hojas, donde el agua

líquida pasa al estado gaseoso saliendo a la atmósfera exterior.

En los estomas, por tanto, se produce una especie de bombeo que eleva el agua desde el suelo a través de las raíces, xilema y hojas. Ninguna bomba mecánica es capaz de aspirar agua a más de 10 metros de altura. Cómo las plantas son capaces de hacerlo a alturas que en algunos de los grandes árboles superan los 100 metros con caudales diarios de varios centenares de litros, es una cuestión que ha preocupado a los fisiólogos desde hace mucho tiempo.

La teoría más aceptada es la de la cohesión, adelantada por Hales y completada por varios investigadores. Según esta teoría, el agua de los distintos órganos de la planta es un sistema continuo conectado a través de las paredes celulares llenas de agua. Cuando el agua se evapora en las hojas, el potencial hídrico en las mismas disminuye y; se origina un gradiente de potencial que se va transmitiendo hacia las raíces y el suelo. Los potenciales ocasionados por transpiración pueden ser bajísimos. Por ejemplo, en el desierto del Negev se ha medido un $\Psi = - 163$ bares en *Artemisia herba-alba*. La enorme magnitud de las fuerzas desarrolladas por el mecanismo de la adhesión entre el agua y las paredes de los conductos xilemáticos, y la cohesión entre moléculas de agua dificulta la cavitación y aunque en los grandes vasos del xilema las columnas de agua se rompen frecuentemente formándose burbujas de aire, el movimiento se transmite por las traqueidas y los vasos de menor diámetro.

La absorción del agua del suelo, es decir, el paso a través de las raíces hacia el xilema se produce principalmente por el gradiente de potencial generado por la transpiración de las partes aéreas. Este mecanismo se denomina absorción pasiva porque en él las raíces sólo intervienen proporcionando una superficie de absorción. Tanto es así que la absorción se puede producir incluso a través de raíces muertas.

Autorregulación de la transpiración

Mediante la transpiración, la planta transfiere del suelo a la atmósfera cantidades enormes de agua, que pueden representar varios cientos de kilos por cada kilo de materia vegetal seca.

La transpiración es la responsable de los déficit hídricos en las plantas, no parece estar justificada la creencia de que la transpiración sea imprescindible para provocar el ascenso de la savia y el consiguiente suministro de minerales a las partes aéreas de las plantas. Aunque dicho ascenso se acelera por la transpiración, el movimiento se produciría igualmente sin ella.

Por tanto, la transpiración es un mal inevitable que causa más muertes en las plantas que cualquier enfermedad; si se pudiese eliminar, muchos cultivos podrían desarrollarse en áreas desérticas.

Déficit hídrico

Algunos autores afirman que el déficit hídrico en la planta se produce cuando la transpiración de agua supera a la absorción, pero en la realidad el déficit se produce siempre que hay movimiento ascendente de agua, aunque los caudales transpirados sean iguales a los absorbidos. El agua en su movimiento debe vencer unas resistencias y en consecuencia a lo largo del recorrido se presentan unas diferencias de potencial.

Cuando el potencial en el xilema en un punto cualquiera es menor que el de los órganos vecinos, se produce una transferencia de agua hacia el xilema desde esos órganos en los cuales se puede provocar déficit hídrico. Debido a que el potencial es menor en las zonas más altas de las plantas, el déficit hídrico es por tanto un mal inevitable consecuencia en último término de la transpiración.

Los déficits hídricos afectan a todos los procesos vitales de las plantas y al final su efecto es el de retrasar y alterar el crecimiento y disminuir la producción. Todos los cultivos tienen un período crítico en el que los efectos del déficit hídrico son más pronunciados; en general el período crítico se presenta en la floración, el cuajado y los primeros estados del crecimiento de los frutos.

Punto óptimo de riego

La determinación del punto o momento óptimo de riego es una cuestión muy importante en el manejo del riego y en el proyecto

de las instalaciones. Su importancia agronómica es evidente ya que un planteamiento incorrecto puede conducir a una disminución en las producciones, generalmente en el caso de un intervalo excesivo de riegos, o a un coste innecesariamente alto en las operaciones de riego, en el caso de un intervalo demasiado corto. Desde el punto de vista de la ingeniería, el punto óptimo de riego determina la dosis de agua y el intervalo, los cuales condicionan la capacidad de las redes de conducción del agua, instalaciones de bombeo y almacenamiento, etc.

El tema es de mucha importancia en los sistemas de riego de baja frecuencia, como son los tradicionales riegos por gravedad o los de aspersión sin cobertura total, en los cuales los intervalos de riego se alargan lo más posible con objeto de disminuir el coste de las operaciones de riego tales como manejo de compuertas y surcos, traslado de equipos móviles de riego, que ocupan una extensión menor cuanto mayor sea el intervalo de riegos, etc. En cambio, en el caso de riegos localizados de baja frecuencia el tema tiene una importancia menor, ya que en ellos se opera generalmente alejados del contenido de humedad por debajo del cual los cultivos se resienten.

Tradicionalmente el punto óptimo de riego se definía como aquél en que la humedad del suelo representa una determinada fracción del agua útil de la zona radicular. Recordando la definición de agua útil (A_u) como la cantidad de agua limitada superiormente por la capacidad de campo (C_c) e inferiormente por

el punto de marchites (P_m). Con frecuencia esa fracción se establece en $1/3$ del A_u es decir, que se aplica el riego cuando se ha consumido la tercera parte del agua almacenada y en el suelo quedan dos tercios de la misma. Por ejemplo, considerando un suelo franco de las siguientes características:

Capacidad de campo: $C_c = 30.3$ % en volumen

Punto de marchites: $P_m = 14.4$ % en volumen

Profundidad: 900 mm

El agua útil de este suelo es:

$$A_u (\%) = C_c - P_m = 30.3 - 14.4 = 15.9 \%$$

$$A_u (\text{mm}) = 900 * 0.159 = 143.1 \text{ mm}$$

Si se aplica el criterio de regar cuando se ha consumido $1/3$ del A_u , la dosis de riego será igual al volumen consumido, es decir:

$$D = 1/3 A_u = 1/3 * 143.1 = 47.7 \text{ mm}$$

Una vez conocida la dosis, el intervalo de riego (i) se calcula en función de dicha dosis y de la evapotranspiración E , según:

$$i = D/E$$

En el caso que se está tratando:

$$E = 6.5 \text{ mm/d}$$

$$D = 47.7 \text{ mm}$$

$$i = 47.7/6.5 = 7.3 \text{ días}$$

Por tanto se regará cada 7 días con una dosis de 47.7 mm (477 m³/h). Vale aclarar que no se tienen en cuenta las distintas pérdidas que se pueden producir, considerando dosis de riego a la cantidad de agua infiltrada y retenida por el suelo.

El sistema antes descrito de calcular la dosis adolece de varios defectos. Existe confusión en torno a ese factor 1/3 que se aplica al Au y que algunos lo interpretan como que hay que regar cuando se ha consumido un tercio del agua útil y otros suponiendo que en el momento de riego, el suelo debe contener un tercio del agua útil. Pero sin insistir en esas diferencias de interpretación, los verdaderos defectos del citado sistema de cálculo se pueden resumir en tres puntos:

1.- No se tiene en cuenta el tipo de cultivo. Se puede aceptar a efectos prácticos, aunque no es exacto, que el punto de marchites es una característica de cada suelo independiente del tipo de cultivo. Pero lo que no es cierto es que todos los cultivos respondan de igual forma a niveles de humedad comprendidos entre la capacidad de campo y el punto de marchites. En términos más comunes: no todos los cultivos presentan la misma resistencia a la sequía. El definir la dosis de riego como un tercio del Au supone aplicar el riego a todos los cultivos con el mismo estado de humedad en el suelo, ignorando la diferente resistencia de los distintos cultivos.

2.- Aún suponiendo que todos los cultivos tuviesen la misma resistencia a la sequía, hay que tomar en cuenta que a la igualdad de contenido de humedad, los diferentes suelos retienen el agua con distinta energía. La relación entre la humedad y el potencial mátrico varía para cada tipo de suelo, y lo que determina la mayor o menor facilidad con que las raíces pueden extraer el agua del suelo no es el volumen ocupado por esa agua, sino la energía con que es retenida.

3.- El tercer punto no considerado en el criterio del tercio de Aú es la salinidad del suelo. Cuanto mayor es el contenido de sales disueltas en la solución del suelo, menos se debe permitir que disminuya la humedad del terreno, para evitar que las sales se concentren provocando una disminución del potencial osmótico, que exigiría esfuerzos adicionales en el mecanismo de absorción de agua por las raíces.

Se ve por tanto que el punto óptimo de riego debe definirse en términos de potencial hídrico y no de contenidos de humedad, aunque la relación entre Ψ y Θ sea necesaria posteriormente para el cálculo de la dosis y el intervalo de riego.

Necesidades de agua de los cultivos

Métodos de cálculo

El cálculo de las necesidades de agua puede hacerse a partir de los datos que suministra la experiencia local o por

medio de métodos empíricos que, en general, evalúan la evapotranspiración a partir de registros climáticos y otros factores. Cuando la experiencia local existe proporciona el mejor método de cálculo, ya que supone la integración de todos los factores que realmente intervienen en el consumo de agua, integración que ninguna fórmula puede pretender igualar. Sin embargo, hay que tener mucho cuidado en comparar las circunstancias observadas con las del caso en que se van aplicar. Cuando más adelante se analice la secuencia de los cálculos por métodos empíricos, se verá la gran variedad de factores que intervienen y cómo diferencias en, por ejemplo, calidad del agua de riego, aportes de agua freática, etc., pueden modificar los datos que la experiencia suministre acerca de las necesidades de los cultivos.

La mayoría de los métodos empíricos utilizan el concepto de evapotranspiración, que vale la pena explicar brevemente. En un terreno ocupado por cultivos, el agua pasa del suelo a la atmósfera de dos formas diferentes: la evaporación, término que se ha convenido aplicar a la evaporación directa desde el suelo a la atmósfera y la transpiración, que es la evaporación desde los estomas de las plantas del agua que éstas han absorbido del suelo. El conjunto de ambos fenómenos se denomina evapotranspiración y se representa por ET. Hay que distinguir entre la ET que realmente se produce en un momento determinado y la máxima que en ese mismo momento produciría un cultivo verde que sombrease totalmente la superficie del terreno y con el

suelo bien provisto de agua. Esta última se denomina evapotranspiración potencial y se representa por ETP. /

Los métodos empíricos determinan la ETP en función de una serie de datos climáticos y de otra clase y posteriormente calculan la ET de los cultivos aplicando unos coeficientes obtenidos experimentalmente, existen infinidad de métodos empíricos.

Esquema del cálculo para riegos convencionales

El cálculo puede hacerse para cualquier período de tiempo, aunque éste nunca debe ser superior a un mes.

En primer lugar se calcula una evapotranspiración potencial que aquí se representa por E_{To} y que se define como "la tasa de evapotranspiración de una superficie extensa de gramíneas verdes de 8 a 15 centímetros de altura, uniforme, de crecimiento activo, que sombrean totalmente el suelo y que disponen de agua abundante".

Posteriormente se selecciona el coeficiente de cultivo K_c y se calcula E_{Tc} , evapotranspiración del cultivo, según $E_{Tc} = K_c \cdot E_{To}$. A pesar de su nombre, la E_{Tc} no es todavía la ET real del cultivo.

Al valor de E_{Tc} se le aplican una serie de correcciones que representan el efecto de determinadas condiciones locales, con lo que se obtiene ET, que es la evapotranspiración del cultivo en riego convencional.

El riego no es la única fuente de agua de la planta, que puede aprovechar la procedente de la lluvia efectiva (P_e), aporte por capilaridad si hay una capa freática próxima (G_w) o disminuir el agua almacenada en el suelo. El balance de todos estos factores conduce al cálculo de N_n , necesidades netas de riego.

En la Figura 2.3, se muestra el esquema del cálculo para riegos convencionales.

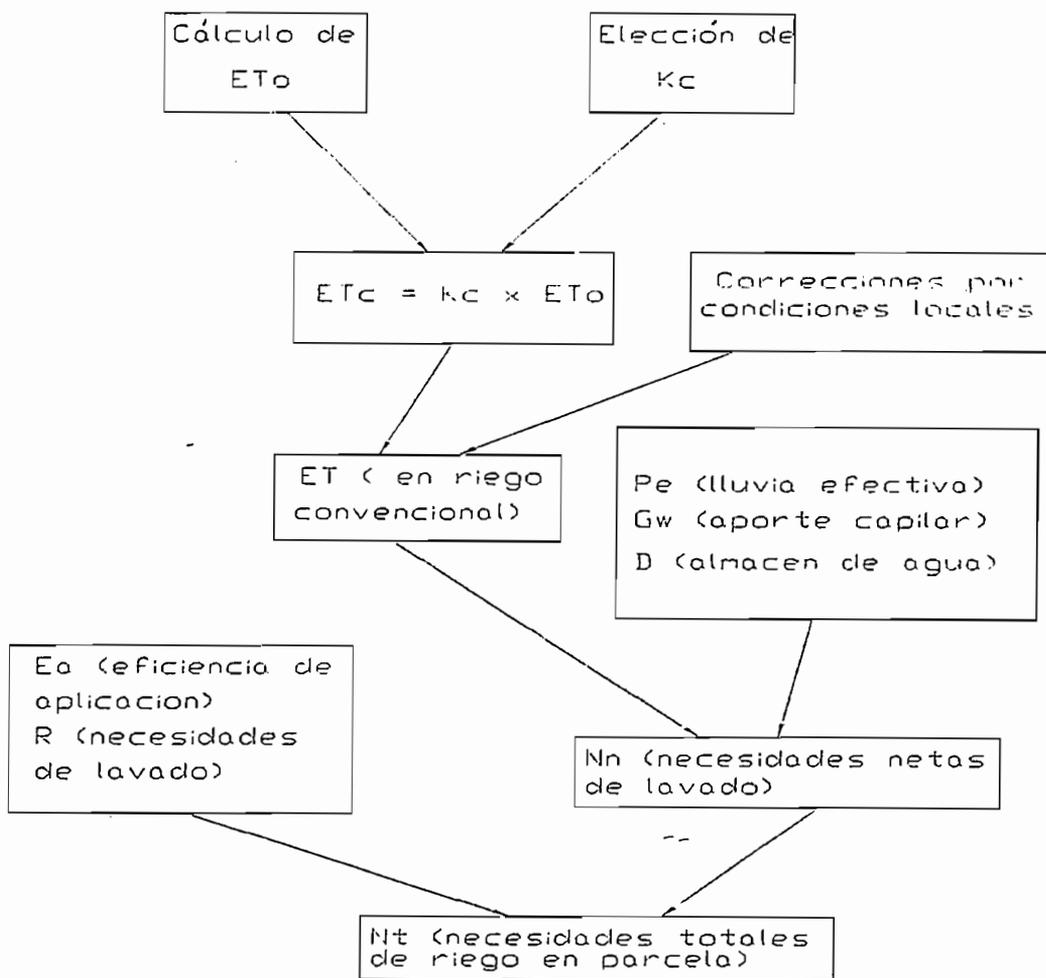


Figura 2.3.- Esquema del cálculo de las Necesidades de agua de Riego

Finalmente las necesidades totales N_t se calculan como la suma de N_n más las pérdidas debidas a ineficiencia en la aplicación del riego o la fracción de agua de lavado cuando ésta es mayor que dichas pérdidas. Se detallará ahora, las distintas fases del cálculo.

Cálculo de E_{To}

El método del tanque tipo A mide la evaporación realmente ocurrida en la superficie libre del agua en un tanque de determinadas dimensiones e instalado siguiendo unas normas estandarizadas. Dicha evaporación (E_{tanque}) se transforman en la E_{To} mediante la aplicación de un coeficiente K_p :

$$E_{Tc} = K_p \cdot E_{\text{tanque}}$$

Cálculo de E_{Tc}

La evapotranspiración del cultivo se calcula a partir de E_{To} según:

$$E_{Tc} = K_c \cdot E_{To}$$

K_c es el coeficiente de cultivo, que es diferente para cada especie y en el que intervienen algunas circunstancias tales como fase de crecimiento en los cultivos herbáceos, mes del año, cultivo con o sin labor en algunos árboles, etc.

Correcciones por condiciones locales

Las fórmulas que calculan E_{To} incluyen datos climáticos y no prevén el efecto de la gran cantidad de condiciones locales

que pueden influir en la evapotranspiración. Algunos de estos efectos se cuantifican por medio de coeficientes que multiplicados por la ETC permiten el cálculo de la ET en riego convencional. En concreto, la tecnología actual permite cuantificar los efectos siguientes:

Variación climática

En los cálculos de ETC se utilizan generalmente valores medios de temperatura, humedad relativa, etc., por lo que el valor calculado se puede considerar como la ETC media. Esto quiere decir que aproximadamente la mitad de los años la verdadera ETC será superior a la media y si un proyecto de riego se basa en ese valor medio, el 50 por 100 de los años será insuficiente.

Para paliar este inconveniente, la ETC media se mayoría multiplicándola por un coeficiente que siempre es mayor que la unidad y que depende del tipo de clima y de la profundidad de agua disponible en el suelo en cada riego. Naturalmente, cuando la ETC no se calcula a partir de datos medios, sino año por año y se selecciona la que presenta una determinada probabilidad de no ser superada, no hay que aplicar esta corrección por variación climática.

Variación por advección

La transformación en riego de una zona introduce un cambio en el microclima aumentando la humedad relativa y disminuyendo

sino a las pérdidas por escorrentía superficial, inevitables en casi todos los sistemas de riego por gravedad, hasta las pérdidas por percolación profunda. Se denomina eficiencia de aplicación en parcela y se representa por E_a a la fracción del agua aplicada que queda retenida en la zona radicular a disposición de los cultivos. El valor de E_a depende del sistema de riego, del tipo de suelo y de otros factores. De acuerdo con la definición de E_a :

$$N_t = N_n / E_a$$

fórmula que permitiría calcular las necesidades totales en función de N_n y E_a . Sin embargo hay otro hecho a tener en cuenta y que puede modificar el valor de N_t obtenido según la fórmula anterior; las necesidades de lavado de sales.

El agua de riego aplicada a un terreno (N_t) aporta una cierta cantidad de sales en función de su concentración salina.

Como las sales no se eliminan por evaporación y su absorción por las plantas es muy reducida, deben ser eliminadas de la zona radicular por medio de lavados, pues de otra forma se irían acumulando en el suelo hasta alcanzar niveles perjudiciales.

Para ello es necesario añadir agua en exceso, provocando que una fracción del agua aplicada supere a la capacidad de campo del suelo y percole a más profundidad, arrastrando consigo a las sales. Llamando R a la cantidad de agua necesaria para el lavado se puede establecer:

$$N_t = N_n + R$$

Si las pérdidas inevitables dan lugar a una percolación superior a R, es decir si $R > N_t(1 - E_a)$, la aplicación de la fórmula es suficiente para el cálculo de N_t . Cuando no ocurre así, N_t debe ser calculada mediante una combinación de las dos fórmulas que se presenta de la siguiente forma:

$$N_t = N_n + P_s + R$$

donde:

N_t = necesidades totales

N_n = necesidades netas

P_s = pérdidas superficiales

R = necesidades de lavado

Avance del sistema de cálculo para riegos localizados de alta frecuencia

En esta parte se mostrará el esquema de ese nuevo sistema de cálculo, que se desarrolla por los pasos siguientes:

- 1.- Se calcula $E_{Tc} = E_{To} \cdot K_c$ del mismo modo que en el riego convencional.
- 2.- La E_{Tc} calculada se disminuye multiplicándola por un coeficiente K_t que es función del área sombreada por el cultivo (esto es superficie de suelo que contiene la sombra del árbol por la incidencia del sol sobre su follaje).
- 3.- Al valor así obtenido se le aplican las correcciones por condiciones locales, obteniendo E_{Trl} que equivale al E_{Trc} del riego convencional.

4.- A partir de ese E_{tr1} , se calcula N_n y N_t por los procedimientos ya descritos para el riego convencional, aunque con algunas modificaciones que hacen intervenir la uniformidad de la aplicación del riego.

Necesidades de aireación del suelo

El exceso de agua disminuye el espacio aéreo del suelo, lo que tiene consecuencias negativas sobre los cultivos por su efecto directo sobre la respiración de las raíces y por el indirecto de alterar la actividad microbiana. En el manejo del riego se debe mantener la humedad del suelo entre dos límites: uno inferior para que las plantas no sufran falta de agua y que se caracteriza no por el contenido en humedad sino por el potencial hídrico del suelo, y uno superior que garantice la aireación mínima. Los riegos de alta frecuencia presentan la doble ventaja de mantener un nivel de humedad más alto y un mejor régimen de aireación del suelo.

El normal desarrollo de las actividades fisiológicas de las raíces (respiración, absorción de agua y nutrientes, etc.) requiere la presencia de oxígeno en el suelo, que es consumido por las raíces produciendo CO_2 .

En suelos con mal drenaje, la respiración de las raíces se ve muy dificultada. Los macroporos, donde normalmente existiría aire, están ocupados por el agua. Al principio las raíces consumen el aire atrapado en el agua del suelo, el cual no es expulsado totalmente; asimismo utilizan el oxígeno disuelto.

Esto explica por qué las plantas resisten algún tiempo (uno o dos días) con el suelo saturado sin que disminuya la producción.

Cuando el oxígeno disponible desciende por debajo de unos niveles que son distintos para cada planta, las raíces disminuyen su actividad respiratoria y en consecuencia disminuyen también sus actividades fisiológicas.

Efectos de la salinidad sobre las plantas y el suelo

Los efectos de las sales del suelo se pueden reunir en los tres grupos siguientes:

- Efecto osmótico de las sales disueltas.
- Efectos del sodio absorbido.
- Toxicidad de algunos iones.

Detallando cada uno de ellos se tiene:

Efecto osmótico de las sales disueltas en la solución del suelo

La absorción de agua del suelo por las raíces de las plantas exige a éstas un esfuerzo mayor cuanto más alta sea la salinidad de la solución del suelo. En efecto, las raíces se comportan como membranas semipermeables que separan dos soluciones de distinta concentración salina, y por tanto de distinto potencial osmótico: en el exterior el agua del suelo y en el interior la del xilema. El agua tendría tendencia a atravesar las raíces en el sentido de igualar ambas concentraciones, es decir, a salir de la planta. Por tanto,

que aminoran el efecto de las sales, como ciertas prácticas de riego, elección de abonos, etc., pero la única manera de eliminar las sales del suelo es mediante un lavado.

El lavado consiste en hacer pasar a través del suelo una cierta cantidad de agua que arrastre consigo las sales. Puede tener dos finalidades diferentes:

1.- Reducir la elevada salinidad inicial del suelo (lavados de recuperación).

2.- Impedir que el suelo se resalinee como consecuencia de las aportaciones de sales del agua de riego, agua freática, etc. (lavados de mantenimiento).

Calidad de agua de Riego

El riego es un importante factor de salinización del suelo cuando no es manejado correctamente. Existen numerosos ejemplos, antiguos y modernos, de ricas regiones agrícolas que como consecuencia de un riego inadecuado se han salinizado, haciéndose totalmente improductivas.

Todas las aguas de riego tienen un contenido mayor o menor de sales solubles. Sin embargo, en las regiones que necesitan riego, esa salinidad es con frecuencia mucho mayor.

Considerando agua de riego de buena calidad, con un contenido en sales solubles de 0,5 g/l, equivalente a una CE aproximada de 0,75 mmhos/cm. Si el volumen anual de riego es de 10.000 m³/ha, una hectárea regada recibirá anualmente 5 Tm de sales aportadas por el agua de riego. En condiciones adecuadas

disminuye la humedad del suelo pero prácticamente no elimina sales de forma que la solución del suelo se hace más salina a medida que el suelo se seca.

Peculiaridades agronómicas de los Riegos localizados de alta frecuencia

Como indica su nombre, los riegos localizados de alta frecuencia (RLAF) se caracterizan por dos hechos fundamentales; la localización y la alta frecuencia.

La localización consiste en que sólo se humedece parte del volumen del suelo y se pretende que las raíces obtengan de ese volumen el agua y los nutrientes que necesitan.

El efecto de la localización se manifiesta en modificar la evaporación y la transpiración, la distribución de las raíces, en un régimen especial de las sales, etc. Además, la localización del riego casi obliga a que éste se aplique con alta frecuencia: el volumen de suelo mojado es reducido y por tanto la capacidad de almacenamiento es baja, por lo que hay que aplicar dosis reducidas de riego, y para satisfacer las necesidades de los cultivos con estas pequeñas dosis se deben aplicar con alta frecuencia.

A su vez la alta frecuencia del riego tiene unas consecuencias importantes en el régimen de la humedad: el suelo se mantiene "constante" a una humedad elevada, lo que afecta a la absorción de agua, concentración de sales, aireación, etc.

Necesidades de agua de los cultivos en riegos localizados de alta frecuencia

Es opinión muy extendida que una de las mayores ventajas de los RLAF es el ahorro de agua. Se verá hasta que punto esto es cierto, estudiando cómo la localización y la alta frecuencia afectan a las pérdidas. La localización se consigue conduciendo el agua por medio de tuberías y aplicándola muy cerca de la planta. Esto elimina las pérdidas por infiltración y evaporación en los canales, acequias, surcos, bancales, etc., lo que supone un importante ahorro de agua que está fuera de toda duda.

Efectos de la localización en el valor de ET

La Figura 2.4, muestra esquemáticamente lo que ocurre en el caso de riego localizado y en riego convencional. Recordando:

$$R_n = H + ET + G + M$$

En el riego localizado sólo se moja una parte de la superficie del suelo, mientras que en el riego convencional se moja toda. En consecuencia, la evaporación directa desde el suelo (E) será menor en el riego localizado, lo que constituye un mecanismo de ahorro de agua. En cambio la transpiración (T) puede aumentar ligeramente por varias causas. Una de ellas es que el suelo seco se calienta más que el húmedo, por lo que emite más radiación de onda larga, que es proporcional a la cuarta potencia de la temperatura absoluta del cuerpo emisor, en

este caso el suelo. Parte de esta radiación es captada por la parte aérea de la planta, lo que equivale a un aumento del primer término de la ecuación anterior y en consecuencia a un aumento también de la transpiración. Asimismo, el aire situado sobre el suelo no mojado se calienta más que si todo el suelo estuviera húmedo, y por medio de fenómenos de microadvección aporta más energía al follaje, aumentando igualmente la transpiración.

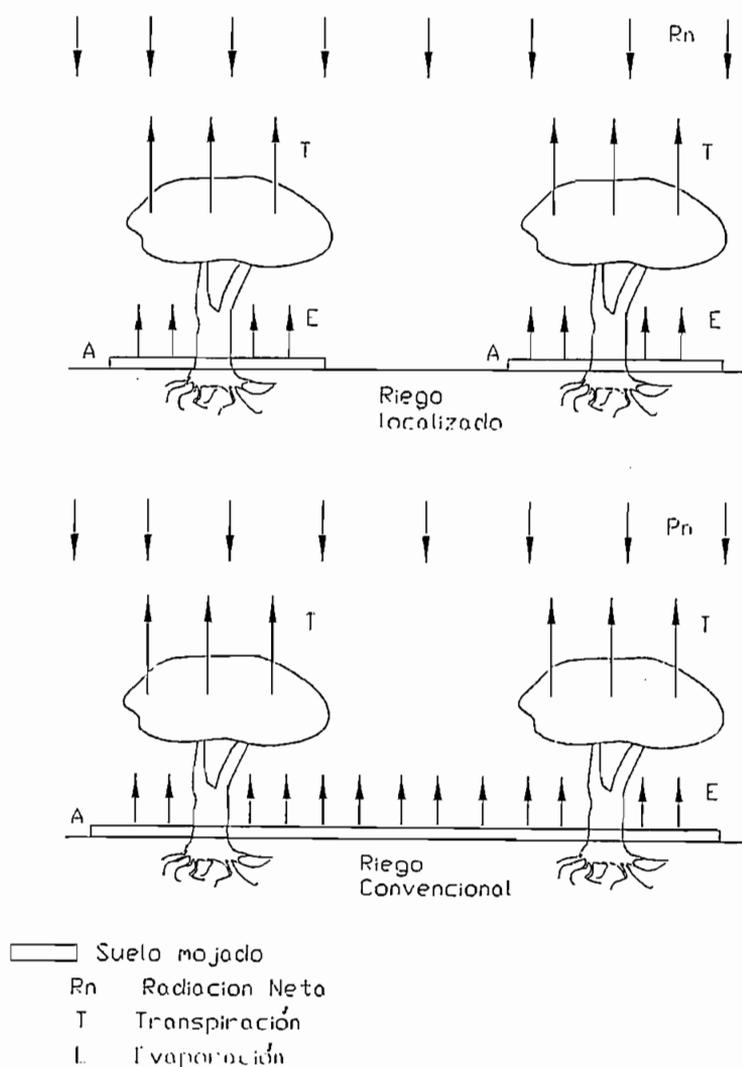


Figura 2.4.- Efecto de la localización del riego en la Evapotranspiración

El efecto de alta frecuencia también favorece el aumento de la transpiración, ya que en los riegos convencionales la humedad desciende bastante en los días anteriores al riego y la transpiración es más difícil. Este hecho sólo se presenta cuando el intervalo de riegos es incorrecto y por tanto, en rigor no se puede considerar como inherente al sistema de riego, aunque en la práctica es una situación que se presenta con frecuencia.

En resumen, el efecto de la localización y la alta frecuencia es disminuir E e incrementar T . El balance supone una disminución del conjunto ET , cuya magnitud depende de varias características de las partes transpirantes de las plantas: masa de follaje, superficie total de las hojas, volumen de la copa, etc. Como estas características son difíciles de cuantificar, se ha intentado representarlas por la "fracción de área sombreada", que es la fracción de la superficie del suelo sombreada por los cultivos al mediodía, y que se suele representar por la letra A . Cuanto menor es A mayor es la reducción de la ET en riego localizado respecto al riego convencional.

El ahorro de agua con riegos localizados se consigue con plantaciones jóvenes de árboles, que es cuando A alcanza valores muy reducidos. A medida que los árboles crecen, el consumo se va aproximando al de riegos convencionales. En cultivos en hileras tales como hortalizas, la disminución en la ET es prácticamente despreciable.

Como conclusión respecto al tema del ahorro de agua, se puede decir que hay importantes ahorros por la disminución en las pérdidas, ciertos ahorros en el caso de árboles, sobre todo en los primeros años y prácticamente no se ahorra nada en cultivos en hileras.

Riegos deficitarios de alta frecuencia

Una línea reciente de investigación enfocada hacia el mayor ahorro posible de agua, propugnan una técnica denominada riegos deficitarios de alta frecuencia. Se pretende aplicar agua con alta frecuencia pero en cantidades inferiores a la ET máxima, y se supone que en esas condiciones las plantas experimentan unas adaptaciones que hacen que los rendimientos no disminuyan. Pero no parece que los riegos deficitarios de alta frecuencia tengan las posibilidades que hace unos años se esperaba. Los cultivos responden a regímenes bajos de humedad disminuyendo sus producciones. En cambio, ese sistema de riego puede ser de aplicación a algunos problemas particulares. Por ejemplo, en caso de sequía, la aplicación localizada y frecuente de pequeñas dosis de riego puede trasladar el período de estrés hídrico hasta después de la recolección, disminuyendo sólo ligeramente la cosecha, aunque reduciendo el crecimiento vegetativo posterior.

la menor permeabilidad del estrato intermedio, el agua pasa con menor velocidad acumulándose en el estrato superior, que de esta forma se extiende más.

c) Obstáculos impermeables.- La presencia de piedras o lentejones de material muy poco permeable hace que el bulbo se extienda lateralmente hasta que el agua rebosa por los bordes.

Según el caudal del emisor y tiempo de riego se tiene distintos volúmenes de agua aplicada conduciéndose a las siguientes conclusiones:

1.- El bulbo se extiende más horizontalmente en los suelos más pesados.

2.- Para el mismo suelo se cumple:

a) Si el caudal se mantiene constante, la extensión superficial del bulbo no varía mucho con el tiempo (o lo que es lo mismo, con el volumen de agua aplicado) y algo parecido ocurre con la máxima extensión horizontal subterránea del bulbo.

En cambio, a medida que pasa el tiempo, el bulbo se va desarrollando en profundidad. Un tiempo excesivo de riego hace que el agua se pierda por percolación.

b) Para un mismo tiempo de riego (o para un mismo volumen de agua), cuanto mayor es el caudal del emisor, mayor es la extensión horizontal del bulbo. Sin embargo, el aumento del

bulbo es mucho menos que directamente proporcional al tiempo de riego.

Régimen de humedad en el suelo

Los rendimientos en los cultivos y el régimen de humedad

Otro tópico acerca de los riegos que se está estudiando es el aumento que se consigue en la producción debido a la alta frecuencia. Según esta teoría, al mantenerse constantemente en el suelo una humedad elevada, la absorción de agua por las raíces exige un esfuerzo menor a la planta y la producción se desarrolla en mejores condiciones, aumentando los rendimientos.

En los sistemas de riego convencionales tales como gravedad o aspersión sin cobertura total, el aplicar diariamente el agua a toda la superficie a regar implica unas necesidades muy grandes de mano de obra en apertura y cierre de compuertas, manejo de surcos, traslado de equipos móviles de aspersión, etc., de forma que en la práctica se ha recurrido al sistema de turnos de riego, en el cual las parcelas se riegan cada cierto número de días, aplicando una dosis suficiente para cubrir las necesidades del intervalo entre riegos. La fase de infiltración del agua en el suelo ocupa un tiempo muy reducido en comparación con la fase de redistribución, y las propiedades del suelo relacionadas con la retención hídrica cobran mucha importancia.

En el riego convencional, cuanto mayor es el intervalo entre riegos más se aproxima Θ al umbral, por lo que desde el punto de vista agronómico interesa acortar el intervalo. En

cambio desde el punto de vista del coste de las operaciones de riego interesa alargar el intervalo aumentando la dosis de riego. La elección del intervalo correcto es por tanto función del cultivo (ET y umbral) y del suelo (relación $\Psi-\Theta$).

En los RLAF normalmente se trabaja muy alejado del valor umbral y el intervalo entre riegos se establece a voluntad, sin más limitación práctica que cuando los riegos son muy frecuentes (uno o más por día) es conveniente la automatización del inicio y final del riego.

El abonado en los RLAF

Las instalaciones de riego localizado no sólo permiten aplicar agua de riego sino también distintos productos como abonos, correctores de suelos, productos fitosanitarios, etc. De estas aplicaciones, la que más se ha desarrollado es la de abonos disueltos en el agua de riego, para lo que incluso se ha creado una nueva palabra: fertirrigación. La fertirrigación ha supuesto una revolución en las técnicas de cultivo. En primer lugar hay que señalar que la aplicación de abonos con el agua de riego no es una exclusiva de los RLAF, pero en ellos es casi una necesidad: dado que las raíces sólo exploran una parte del suelo, los nutrientes situados fuera de su alcance no son efectivos. Además, la gran actividad radicular en el bulbo húmedo podría agotar algunos nutrientes si no se repusieran con frecuencia.

mejora del conocimiento de las necesidades de los cultivos, permitirán una utilización de la fertirrigación más racionalmente de lo que se hace en la actualidad y, por supuesto, mucho más que del abonado tradicional.

El diseño agronómico es el componente fundamental en todo proyecto de riego, y los RLAF no son una excepción. Es la parte en la que los errores tienen consecuencias más graves; de nada sirven unos afinados cálculos hidráulicos en la instalación de riego o una perfecta elección de los automatismos, si se parte de un diseño agronómico equivocado cuya consecuencia es, por ejemplo, la salinización del suelo por falta de lavado o la insuficiencia en el volumen de suelo humedecido, por instalar un número equivocado de emisores. Por otra parte, como también ocurre en los demás métodos de riego, el diseño agronómico es la parte del proyecto que más dificultades presenta, tanto de tipo conceptual como de dificultad de cuantificar mediante fórmulas.

Necesidades de agua

A efectos de diseño, lo que interesa conocer acerca de las necesidades de agua es su valor punta, en función del cual se dimensionan posteriormente las instalaciones de riego. Para otro tipo de trabajos puede interesar el cálculo de las necesidades de un cultivo a lo largo de todo su ciclo, como es el caso de los estudios económicos, en los que hay que valorar el coste del agua, o las necesidades anuales de las alternativas

para conocer, por ejemplo, la superficie que se puede abastecer con un embalse.

Para estos cálculos se sigue el desarrollo del esquema de la Figura 2.3.

Cálculo de ETo

El cálculo de ETo no presenta diferencias respecto al riego convencional, y depende de los estudios realizados en la zona en particular así en la zona de Puenbo el mes de evapotranspiración más elevada es Julio, con un valor medio de ETo = 6,51 mm/día que no se supera con una probabilidad de un 52,2 %. Con una probabilidad del 90 por 100, el valor de ETo es de 7,15 mm/día.

Para el cálculo se lo hará a partir del valor medio y en su momento se comentará la corrección necesaria para aumentar la probabilidad de no ser superado.

Elección de Kc

Según estudios realizados por la FAO para distintos tipos de cultivos incluyendo el nuestro, se distinguen dos posibilidades:

- Cultivados limpios Kc = 0,55
- Sin programa de lucha contra malas hierbas .. Kc = 0,85

En el ejemplo práctico debido al tipo de cultivo de explotación tecnificada con programas de deshierbe y cuidados extremos se adoptará un Kc = 0,6

Por tanto se tiene:

$$ETc = 6,51 \cdot 0,6 = 3,906 \text{ mm/d}$$

Efecto de localización

Se han propuesto numerosos procedimientos que corrigen la ETc por el efecto de localización. Entre ellos se ha seleccionado como más prácticos los que se basan en la fracción de área sombreada por el cultivo, a la que se denomina A y se define como la fracción de la superficie del suelo sombreada por la cubierta vegetal a mediodía en el solsticio de verano, respecto a la superficie total.

Para entender este concepto se utiliza la Figura 2.4.

La fracción de área sombreada es:

$$A = (n \cdot 4 \cdot 4) / 6 \cdot 4 = 0,52$$

Estos métodos suponen que a efectos de evapotranspiración el área sombreada se comporta casi igual que la superficie del suelo en riegos no localizados, mientras que el área no sombreada elimina agua con una intensidad mucho menor.

Así la corrección por localización consiste en multiplicar ETc por un coeficiente de localización Kl, cuyo valor depende de A. Diversos autores han estudiado la relación entre Kl y A, obteniendo las fórmulas siguientes:

- 1.-Aljiburi Kl = 1,34 A
- 2.-Decroix Kl = 0,1 + A
- 3.-Hoare Kl = A + 0,5(1 - A)

$$4.-\text{Keller} \dots\dots\dots K_l = A + 0,15(1 - A)$$

En la práctica se ve que el cultivo de rosas al que se hace referencia se ha cultivado bajo invernadero en camas de 1 metro de ancho por 30 metros de largo ubicando las plantas en forma tupida lo cual da un valor de A cercano al 1 se obtará por un valor de 0,8 como valor de A para el cálculo, con esto se obtiene mayor seguridad en los resultados finales, así:

Aljiburi	$K_l = 1,072$
Decroix	$K_l = 0,9$
Hoare	$K_l = 0,9$
Keller	$K_l = 0,83$

El valor medio de los coeficientes de localización es:

$$K_l = 0,9255$$

Con este factor multiplicándolo por el ETC anteriormente encontrado, se tiene que:

$$K_l * ETC = 0,9255 * 3,906 = 3,615 \text{ mm/d}$$

Correcciones por condiciones locales

Variación climática

Cuando la ETo utilizada en el cálculo equivale al valor medio del periodo estudiado, debe mayorarse multiplicándola por un coeficiente, pues de otra forma las necesidades calculadas serían también un valor medio, lo que quiere decir que

Así para este caso de 10 Ha el factor es de 0,9 con lo que se obtiene un $ETrl = 4,338 * 0,9 = 3,904$ mm/d

Necesidades netas (Nn)

Como se vio anteriormente, las necesidades netas de riego se pueden calcular según:

$$Nn = ETrl - Pe - Gw - Dw$$

Aunque estadísticamente en el mes de máximas necesidades se produzca una cierta lluvia media que dé lugar a una precipitación efectiva Pe , ésta no debe tenerse en cuenta. En efecto, dada la alta frecuencia de riego, que a veces es diaria, es muy improbable que siempre ocurra una lluvia en el intervalo entre dos riegos, además para cultivos cubiertos esto no existe.

En cuanto al aporte capilar (Gw) puede ser importante en los casos en que la capa freática esté próxima, no se la tomara en cuenta debido a la necesidad de estudios más profundos y a su poco valor representativo en los cálculos.

La variación de almacenamiento de agua del suelo Dw generalmente no se debe tener en cuenta para el cálculo de las necesidades punta; los RLAF pretenden mantener próximo a cero el potencial hídrico del suelo, lo que consiguen reponiendo con alta frecuencia el agua extraída. Si se permite que las necesidades de los cultivos se satisfagan con el agua almacenada, la humedad del suelo y el potencial hídrico irán

disminuyendo y posiblemente alcancen valores alejados del óptimo.

Por lo tanto en la mayoría de casos y en específico en el nuestro se cumplirá que $N_n = E_{Tr1}$ por lo que:

$$N_n = 3,904 \text{ mm/d}$$

Necesidades totales (N_t)

Para el cálculo de las necesidades totales a partir de las necesidades netas hay que tener en cuenta tres hechos:

- Pérdida de agua por percolación.
- Necesidades de lavado.
- Falta de uniformidad del riego.

Las pérdidas de agua en parcela en los RLAF son prácticamente las debidas a la percolación; las pérdidas por escorrentía sólo se pueden presentar en casos extremos de manejo muy deficiente, por lo que no se las tendrá en cuenta.

Llamando P_p a las pérdidas por percolación y A al agua a aplicar se cumple:

$$A = N_n + P_p$$

Si se define una eficiencia de aplicación E_a como:

$$E_a = N_n / A$$

se tiene:

$$P_p = A(1 - E_a)$$

Las necesidades de lavado R son un sumando que hay que añadir a las necesidades netas para mantener la salinidad del suelo a un nivel no perjudicial.

Si se supone por el momento que no hay pérdidas por percolación, se puede escribir:

$$A = Nn + R$$

A la relación entre R y A se denomina coeficiente de necesidades de lavado y se expresa por LR:

$$LR = R / A$$

con lo que la ecuación anterior se puede escribir:

$$A = Nn + A * LR$$

Observando las últimas ecuaciones se comprueba que tanto en el caso de pérdidas como en el de lavado, A se puede expresar como la suma de Nn y un sumando que es proporcional a A:

$$A = Nn + A * K$$

donde, $K = (1 - Ea)$ en el caso de pérdidas

$K = LR$ en el caso de lavado

Para la aplicación práctica de la ecuación de A, se elige el mayor valor de K en los dos casos posibles. Es decir, si las pérdidas por percolación son mayores que las necesidades de lavados se cumplirá:

$$Pp > R \text{ ---> } (1 - Ea) > LR$$

y en ese caso las pérdidas provocan un lavado superior al necesario, con lo que el nivel de salinidad se mantendrá por debajo del mínimo. Si, por el contrario, las pérdidas son menores que las necesidades de lavado, habrá que provocar voluntariamente una mayor percolación para evitar la salinización del suelo.

Como resumen de lo dicho hasta ahora:

$$A = Nn / (1 - K)$$

$$K = 1 - Ea$$

$$K = LR \quad \text{se elige el valor más alto de } K$$

Pero este valor de A todavía no equivale a las necesidades totales, ya que aún hay que tener en cuenta la falta de uniformidad del riego. Debido a varias causas, los emisores de una instalación arrojan caudales que no son exactamente iguales entre si, lo que ocasiona que los cultivos reciban dosis de riego diferentes. A efectos de diseño se establece la condición de que la parte de la finca que menos agua reciba, reciba como mínimo una cierta fracción de la dosis media. A esa fracción se llama "coeficiente de uniformidad" y se representa por CU. En la realidad, la dosis media se eleva de forma que la fracción de la finca menos regada reciba la cantidad de agua necesaria, que es el valor de A antes calculado. Por tanto, las necesidades totales se calculan como:

$$Nt = A / CU$$

Con lo que se llega finalmente a la fórmula de diseño:

$$Nt = Nn / (1 - K) * CU$$

$$K = 1 - Ea$$

$$K = LR \quad \text{se elige el valor más alto de } K.$$

CU se puede fijar a voluntad, pero en su elección hay que tener en cuenta que cuanto mayor sea CU más uniforme será el riego, menor será Nt y el consumo de agua será menor (en la

parte más regada de la finca sobrará menos agua), pero en cambio la instalación será más cara, ya que para conseguir una alta uniformidad habrá que dimensionar la red de tuberías de forma que los distintos emisores trabajen a presiones muy parecidas.

La fórmula de N_t es la que realmente se utiliza a nivel de proyecto. Para su aplicación es preciso conocer E_a y LR :

Eficiencia de aplicación de RLAF

Varios autores informan acerca de los valores de E_a y se distinguen para el efecto dos casos:

1.- Climas áridos:

Tabla 2.1

TEXTURA				
Profundidad de raíces (m)	muy porosa (grava)	arenosa	media	fina
< 0.75	0.85	0.90	0.95	0.95
0.75 - 1.5	0.90	0.90	0.95	1.00
> 1.50	0.95	0.95	1.00	1.00

Para el cálculo de N_n no se considera la precipitación efectiva (P_e), los valores de E_a vienen en la tabla 2.1.

2.- Climas húmedos:

Tabla 2.2

TEXTURA				
Profundidad de raíces (m)	muy porosa (grava)	arenosa	media	fina
< 0.75	0.65	0.75	0.85	0.90
0.75 - 1.5	0.75	0.80	0.90	0.95
> 1.50	0.80	0.90	0.95	1.00

En los que para el cálculo de N_n se ha tenido en cuenta P_e .
Los valores de E_a se muestran en la tabla 2.2.

Necesidades de lavado

Un método más sencillo de cálculo, aunque menos correcto, consiste en calcular LR según:

$$LR = CE_i / 2.CE_e$$

donde:

CE_i = es la conductividad eléctrica del agua de riego.

CE_e = es la conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo.

Volviendo al proyecto se tiene que el $N_n = 3,904$ mm/d y para encontrar el N_t es necesario saber el CU, E_a y LR.

- CU se establece en 0,90
- E_a en clima árido, profundidad de raíces 0,75 - 1,50m, textura entre media y pesada; $E_a = 0,95$.
- LR con experimentación es: $CE_i = 0,8$ mmhos/cm
 $CE_e = 1,7$ mmhos/cm

de aquí:

$$LR = CE_i / 2.CE_e = 0,8 / 2 * 1,7 = 0,24$$

$$K = 1 - E_a = 1 - 0,95 = 0,05$$

$$K = LR = 0,24$$

Se elige el valor más alto de K, que es 0,24. Este valor equivale a que para evitar la salinización se riegue con un exceso de 24 por 100.

Así se encuentra Nt:

$$Nt = Nn / (1 - K) \cdot CU = 3,904 / (1 - 0,24) \cdot 0,9 = 5,70 \text{ mm/d}$$

En la fase de diseño agronómico todas estas magnitudes están relacionadas entre sí, de forma que una variación en alguna de ellas modifica a las demás.

Número y disposición de emisores por planta

El número de emisores por planta determina una característica agronómica muy importante de los riegos localizados: el porcentaje de superficie mojada. En primer lugar se verá las necesidades de los cultivos y después se estudiará el área mojada por cada emisor y los muy variados sistemas de distribución especial de éstos.

En la práctica del diseño, el concepto de porcentaje de suelo mojado se sustituye por el de porcentaje de superficie mojada que aunque menos significativo, es más fácil de manejar y medir.

Para determinar el área mojada por un emisor conviene hacer una distinción entre microaspersión y goteo, incluyendo en el primer grupo a la amplia gama de difusores y en el segundo a los emisores de bajo caudal que utilizan el propio suelo para la propagación de la humedad. En el caso de goteros, que es el de

este estudio, en la forma y dimensiones del bulbo húmedo, intervienen numerosos factores como textura, estratificación del suelo, caudal de emisor y tiempo o volumen de riego. Asimismo, se estudió una técnica de riego, el riego a pulsos, que permite extender superficialmente el bulbo en suelos muy permeables.

Parte importante del diseño agronómico es la distribución de las tuberías de último orden y la disposición de los emisores. Varios condicionantes intervienen en esta cuestión.

Se tiene que tomar en cuenta el número de emisores por planta; por otra, los materiales situados sobre el terreno deben permitir la ejecución de las labores, pasos de maquinaria, etc.

La topografía obliga a veces a determinadas formas de cultivo y de distribución de las líneas de riego. Y finalmente hay que tomar en cuenta el aspecto económico, el cual tiende al ahorro de inversión en tuberías.

Una primera advertencia es que con frecuencia, al realizar la plantación se instala un número de emisores menor que el definitivo y que éstos se van aumentando a medida que el árbol crece.

En la Figura 2.7 se muestran algunas disposiciones posibles de emisores para el riego de árboles.

Se puede ver que se tiene dos goteros por árbol si se trata de una línea, duplicando el número de emisores por planta al aumentar otra línea de conducción. También es muy usada la disposición de una línea con 4 emisores por árbol, esto es debido a posibles obturaciones de 1 o más emisores. Es más

costoso y de mayor consumo el de dos líneas con 8 emisores por planta, pero también se la utiliza dependiendo de las necesidades de la plantación.

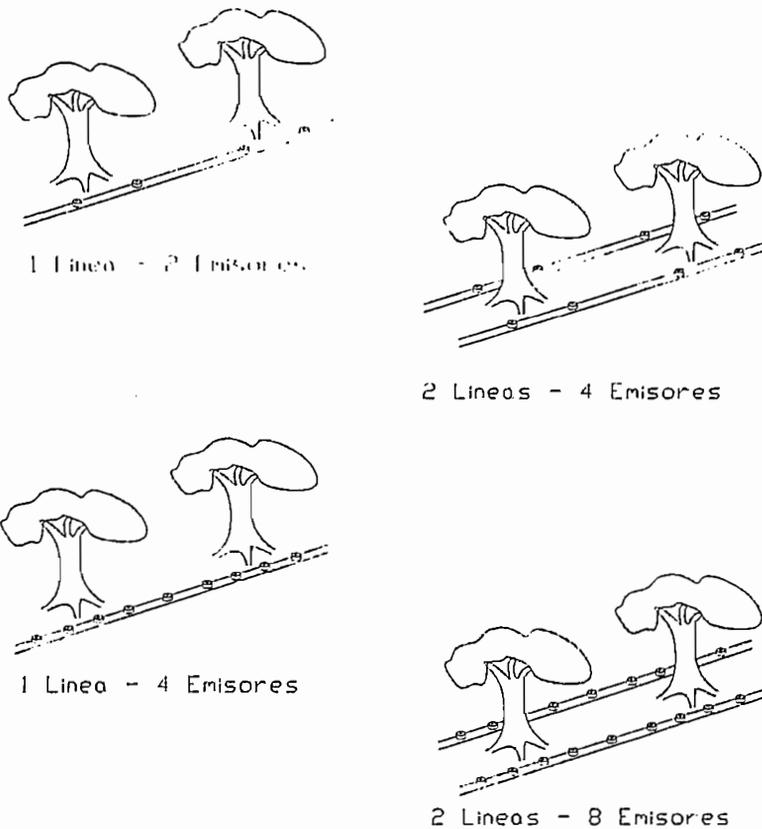


Figura 2.7.- Ubicación de emisores por árbol

En Figura 2.8, se visualiza la disposición de las líneas de goteo en una cama en su vista lateral.

Con esto se tiene el primer paso que es el diseño agronómico, con lo cual se puede continuar hacia el diseño hidráulico del sistema ya que se tiene la cantidad de agua necesaria por la planta, y se necesita diseñar los elementos para conducir dicha cantidad hacia la planta.

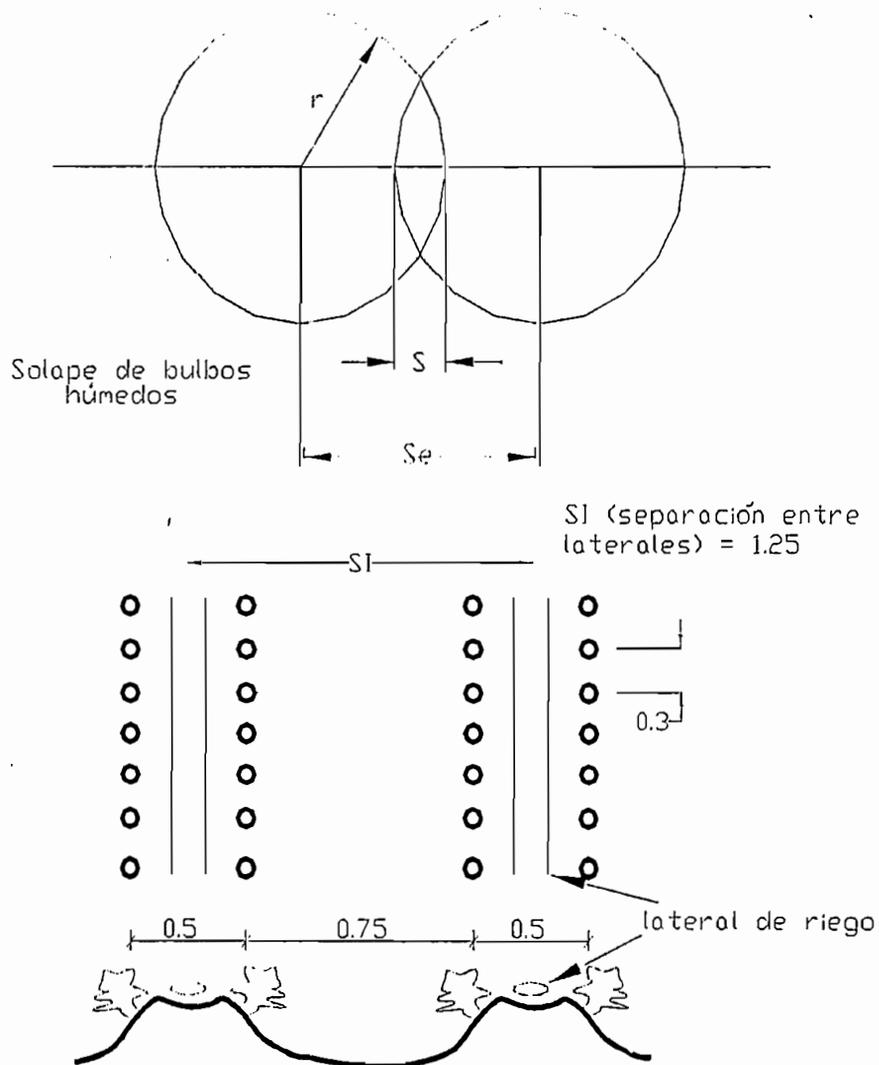


Figura 2.8.- Ubicación de los emisores (vista lateral)

Clasificación y tipo de emisores

La gran variedad de emisores que existe en el mercado ha sido objeto de diversas clasificaciones atendiendo a sus características hidráulicas, riesgos de obturaciones, forma de inserción en los laterales, etc.

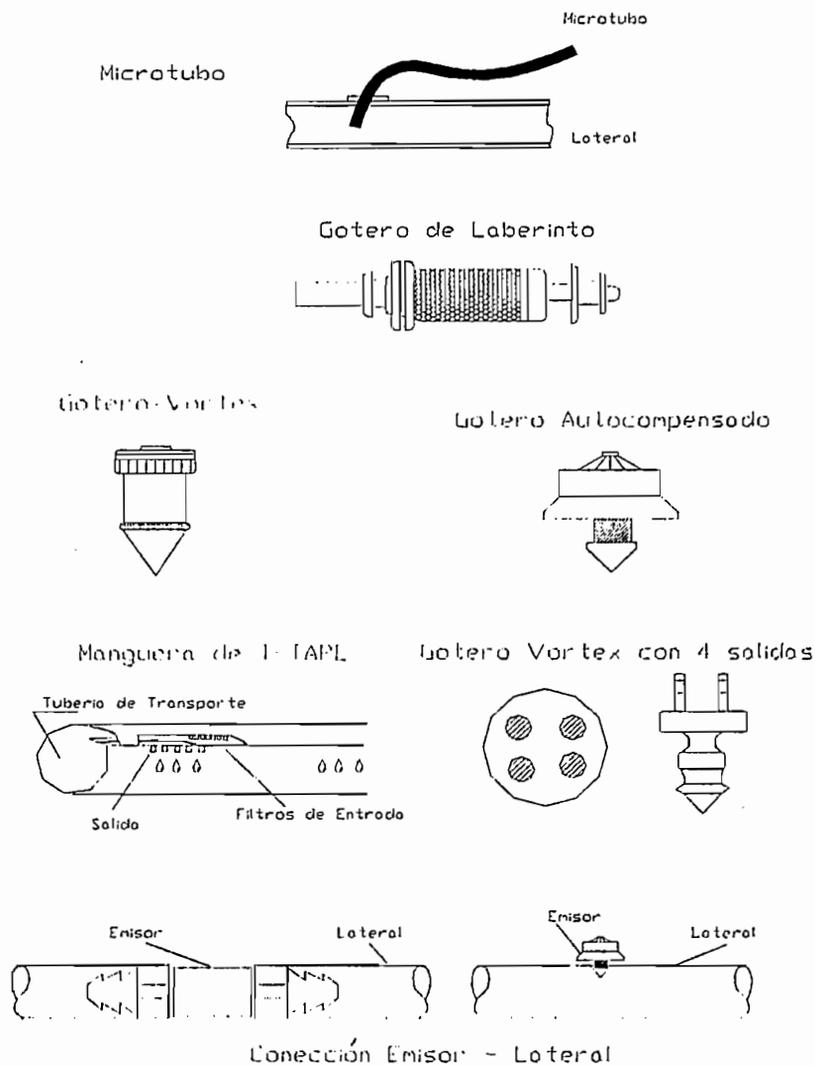
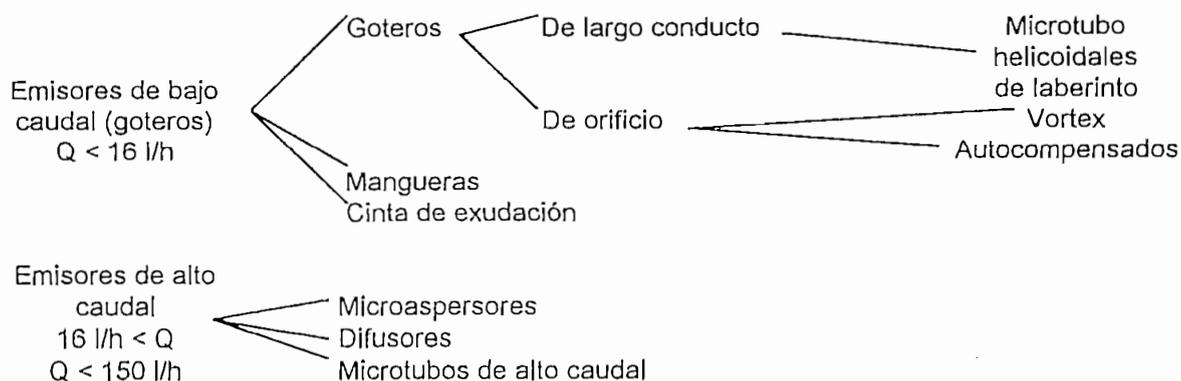


Figura 2.9.- Tipos de Emisores

En la Figura 2.9, se puede visualizar distintos tipos de emisores.

Por interés de la tesis se describirá brevemente los distintos tipos de emisores, ya que el emisor que se utilizará ya se lo describió anteriormente.

Se explicará la clasificación del cuadro siguiente, que se basa en la forma en que los emisores disipan la presión:



Goteros de largo conducto

Estos han ido evolucionando en el tiempo según la secuencia microtubo helicoidales de laberinto. El microtubo es el tipo de gotero más antiguo, no sólo de los de largo conducto, sino de todos los tipos. Consiste en un tubo generalmente de polietileno, de pequeño diámetro, entre 0,6 y 2 mm, y de longitud variable. Los goteros helicoidales consisten en una modificación del microtubo; es como si éste se enrollara alrededor de un cilindro, con lo que se consiguen goteros más compactos. Se fabrican generalmente en polipropileno, como la mayoría de los goteros. El hecho de que la trayectoria del agua sea helicoidal origina fuerzas centrífugas que distorsionan la distribución parabólica de velocidades en la sección del tubo, característica de las trayectorias rectas. Los goteros de laberinto son el último tipo en la evolución histórica de los de largo conducto. En ellos se obliga al agua a recorrer una trayectoria tortuosa, funcionando prácticamente en régimen

turbulento, con lo que son muy poco sensibles a la temperatura y menos que los helicoidales a la presión y obturaciones. Los caudales entre los que se encuentran estos goteros están de 2 a 8 l/h, según los modelos.

Goteros de orificio

La primera solución que se le ocurre a cualquiera para obtener un riego localizado es la de perforar una tubería, y de hecho ha habido intentos de este tipo en los que se construían unos orificios directamente en la tubería lateral; esta solución fracasó porque, los orificios deben ser de muy pequeño diámetro, de manera que una ligera variación, imposible de evitar con materiales plásticos cuyas propiedades cambian con el tiempo, da lugar a poca uniformidad en los caudales. En cambio sí existen goteros de polipropileno en los que el agua sale al exterior a través de un orificio donde se disipa la presión disponible. El inconveniente de estos goteros es que por tener pequeño diámetro son sensibles a las obturaciones.

Goteros Vortex

Estos goteros surgieron como un intento de paliar el citado inconveniente de los goteros de orificio por su pequeño diámetro. De hecho un gotero vortex es un gotero de orificio en el que el agua, después de atravesar la perforación, se ve obligada a circular por una cámara donde entra tangencialmente,

presiones a que se ve sometido y de los agentes químicos tales como abonos, ácidos, alguicidas, etc. que puede llevar el agua de riego.

Mangueras de goteo

Las mangueras son unas tuberías provistas de puntos de emisión muy próximos, lo que las hace muy adecuadas para el riego de cultivos en línea tipo hortalizas y flores, estas mangueras consisten en dos conductos paralelos, uno principal del que el agua pasa al secundario a través de un orificio que provoca una primera pérdida de carga; del conducto secundario el agua sale al exterior por un segundo orificio. Las mangueras T-TAPE tienen un diámetro de 16 mm y se fabrican con varios espesores, vendiéndose en rollos de 2.400 m o 2.300 m. El orificio que comunica los conductos principal y secundario lleva un pequeño filtro, y el conducto secundario lleva unos topes que lo dividen en tramos.

El espaciamiento entre emisores varía entre 20, 40 y 60 cm.

La presión de trabajo está comprendida entre 5 y 15 PSI y proporcionan caudales entre 79 y 944 l/h y 100 metros, según la presión, espaciamiento y tipo de orificios.

Cintas de exudación

Existe un modelo comercializado bajo la marca Viaflo, que consiste en una tubería o cinta fabricada a partir de una membrana compuesta de microfibras de polietileno entrecruzadas,

formando una malla en la que los poros tienen un tamaño medio de 4 - 5 micras y ocupan el 50 por 100 de la superficie de la membrana. Al aplicar una presión que normalmente está comprendida entre 10 y 20 PSI, la tubería se hincha y el agua sale al exterior por los poros, homogéneamente en toda su longitud. Aquí se tienen caudales de 1 a 1,75 l/h y metro de cinta, pero este caudal se ve afectado considerablemente por la temperatura del agua y por su viscosidad, que es variable en función de la salinidad. Pero el pequeño tamaño de los poros hace a este emisor ultrasensible a las obturaciones.

Microaspersores y difusores

En suelos muy permeables en los que el bulbo húmedo se desarrolla mucho en profundidad y poco en anchura, el empleo de emisores de bajo caudal ha dado lugar a riegos totalmente insuficientes en cuanto al área de suelo mojado. Para estos casos, sobre todo, ha surgido la solución de los microaspersores y difusores. La diferencia entre estos emisores no es importante: los microaspersores llevan un mecanismo móvil que distribuye el agua mientras que en los difusores tal mecanismo no existe. En ambos casos el agua pulverizada se distribuye por el aire y cuando cae a tierra humedece una superficie cuyo radio es del orden de 0,5 - 3,5 metros, aunque en algunos modelos el alcance es superior al indicado. Tienen menor riesgo de obturación, pueden trabajar a mayor presión que los goteros y

sus caudales varían entre 20 y 150 l/h, existiendo modelos que alcanzan hasta 300 l/h.

Microtubos de alto caudal

Estos pueden trabajar como emisores de alto caudal en determinadas circunstancias. No obstante, los microtubos son poco empleados con este objeto por que presentan los inconvenientes característicos de los emisores de alto caudal, como son los grandes diámetros de tuberías terciarias y laterales.

Tuberías, filtrado y materiales

Las tuberías usualmente empleadas en conducciones de agua pueden ser de seis materiales: PVC (policloruro de vinilo), PE (polietileno), fibrocemento, hormigón, fundición y acero. De ellas se utilizan en RLAF las de PVC y PE.

En las tuberías de plástico el diámetro nominal (Dn) es el exterior, y se puede considerar como el diámetro teórico declarado por el fabricante, a partir de cual se establecen las tolerancias y que sirve de referencia para designar por medidas los distintos elementos de una conducción acoplables entre sí.

Los tubos de PVC son de plástico rígido fabricados a partir de una materia prima compuesta esencialmente de resina sintética de policloruro de vinilo (PVC) técnico, mezclada con la proporción mínima indispensable de aditivos colorantes, estabilizantes y lubricantes, y exenta de plastificantes y

materias de relleno. Se fabrican con dos tipos de juntas: por encolado o soldadura (pegamento), que se utilizan para diámetros no superiores a 160 mm y por juntas elásticas, cuya estanqueidad es superior. Estas tuberías vienen reguladas por normas que establecen cinco presiones nominales 91 psi, 116 psi, 145 psi, 185 psi y 225 psi, además comercialmente se fabrican diámetros que van desde 25 a 315 mm.

El polietileno (PE) es un plástico derivado del etileno, al que se somete a un proceso de calor y presión que provoca su polimerización. Las tuberías de polietileno se fabrican mediante extrusión.

El enorme impulso de los RLAF en los últimos años se debe en gran parte al desarrollo de las tuberías de PE, que presenta dos ventajas respecto al PVC: se puede instalar al aire libre y es flexible y mucho menos frágil. En cambio el PE es más caro que el PVC, al igual que sus accesorios.

Uno de los problemas más estudiados en la hidráulica de tuberías es la relación cuantitativa que existe entre las siguientes magnitudes:

q: caudal

d: diámetro

v: velocidad del agua

l: longitud de la tubería

H: pérdida de carga por rozamiento

Existen diversidad de fórmulas que llevan a calcular, el diámetro de la tubería que se necesita dependiendo de: el caudal requerido, la velocidad a la que atravesará el agua por la tubería, y que según la longitud de tubería que se va a utilizar se tendrá un máximo permitido de pérdida de presión por el rozamiento del agua con las paredes del tubo.

En la actualidad y para desarrollar la parte práctica de los diseños de riego se han realizado tablas o ábacos que traen simplificado todo el desarrollo de estas fórmulas, en ellos se puede encontrar todos los parámetros que se necesitan para hacer un diseño completo de terciarios, laterales, submatrices y matrices además saber exactamente las pérdidas que se tienen en cada sección y las totales del sistema. Para el efecto de esta tesis el diseño hidráulico del sistema de riego se realizará en base a la utilización de uno de estos ábacos y se explicará paso a paso el funcionamiento del mismo.

Filtrado y tratamiento de aguas

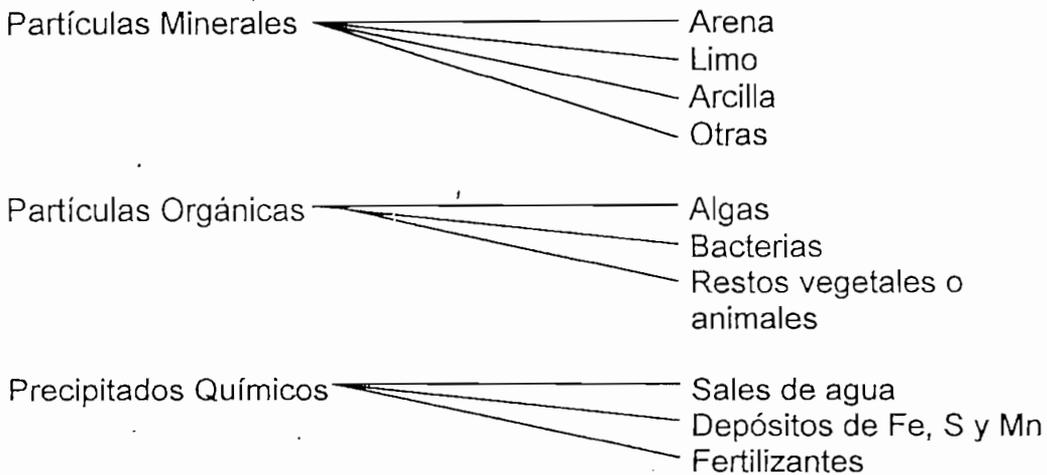
Causas de obturación

Tal vez el mayor problema de los RLAF sea el de las obturaciones. Los pequeños diámetros de los emisores, sobre todo en el caso de goteo, y las bajas velocidades del agua facilitan la formación de obturaciones.

Cuando el agua procedente de pozos pasa directamente a la red de riego, lo normal es que transporte alguna partícula

mineral como arena. Además, la corrosión de la tubería de hierro acaba desprendiendo partículas de herrumbre.

Las obturaciones pueden ser debidas a varias causas, como se muestra en el siguiente cuadro:



Cuando el agua pasa por un depósito al aire libre, en ella se desarrollan algas, a veces de un tamaño tan reducido que pasan por los filtros, favoreciendo además el desarrollo de Bacterias en las tuberías y emisores. Todas las aguas tienen un cierto contenido en sales que en determinadas condiciones (cambios de pH, evaporación, etc.) pueden precipitar obturando los emisores, e igual puede ocurrir con los fertilizantes añadidos al agua de riego.

La lucha contra las obturaciones comprende dos tipos de medidas. Unas son preventivas y consisten en el filtrado y en algunos tratamientos de agua. Las otras medidas se aplican cuando la obturación se ha producido total o parcialmente y consisten fundamentalmente en el tratamiento del agua, aunque

que el agua, aunque éstas, al depositarse puedan arrastrar algo de materia orgánica.

Los decantadores son los elementos más utilizados y consisten en una obra civil por medio de la cual el agua que entra a él, pasa por diferentes niveles o gradas llegando a un deposito final con velocidad mínima y dejando en los niveles anteriores todos los materiales de sedimentación decantados.

Esta obra civil se lo puede observar en la Figura 2.10.

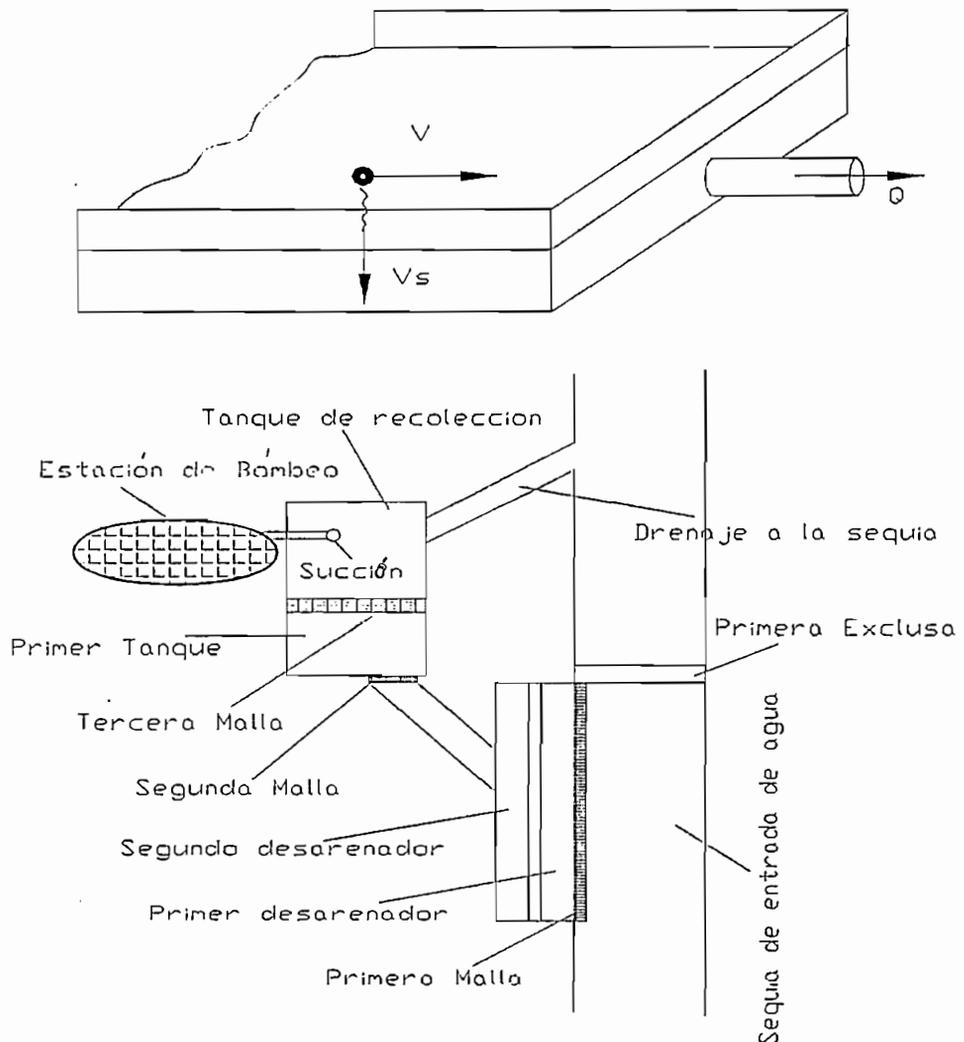


Figura 2.10.- Típico desarenador con su funcionamiento y ubicación

El agua cargada de arena entra en el hidrociclón tangencialmente a la parte interior cilíndrica, lo que provoca un torbellino vorticial descendente, llamado torbellino principal. La fuerza centrífuga generada en este torbellino proyecta las partículas sólidas contra las paredes de la parte cónica, por la cual desciende hasta el tubo inferior, que las conduce al depósito de sedimentos. Cuando éste se encuentra lleno se abre manualmente una válvula en él situada y se eliminan los sedimentos.

Por su parte el agua, que también ha descendido con el torbellino principal, al aproximarse al vértice del cono forma un torbellino ascendente que se denomina secundario y que gira en el mismo sentido que el primario, elevando el agua libre de partículas sólidas, que sale por el tubo superior. No se deben elegir hidrociclones sobredimensionados porque su eficacia disminuye mucho afuera de su rango de actuación.

Filtro de arena

Los filtros de arena consisten en tanques metálicos o de poliester, en cuyo interior se coloca una gruesa capa de arena a través de la cual pasa al agua a filtrar. En este el agua entra por la tubería superior y se distribuye en el interior del tanque por medio de un deflector que tiene por objeto evitar que el chorro de agua incidente sobre la arena la remueva. La salida del agua filtrada es por la tubería inferior: ésta se

prolonga en el interior del tanque en unos colectores perforados y revestidos de malla para evitar el arrastre de la arena. El tanque dispone de dos amplias bocas, una para la carga y otra para la descarga de la arena. El depósito lleva un purgador ya que en los filtros de arena el aire se acumula con frecuencia. La tubería de entrada suele llevar una derivación para eliminar el agua sucia durante la limpieza por retrolavado.

Este es el tipo de filtro que se utilizaran en el proyecto, dimensionandolo dependiendo del caudal de agua que se va a necesitar esto es depende de cuantas válvulas se operen al mismo tiempo así se determinará el uso de dos o más de estos filtros y su capacidad en galones y se controlará los procesos de lavado y retrolavado con las válvulas solenoides que se conectarán según diseño hidráulico a este filtro. Este filtro se lo puede visualizar en la Figura 2.11.

Filtros de malla

A diferencia de los filtros de arena, que realizan una retención de impurezas en profundidad, los de malla efectúan una retención superficial, lo que hace que su colmatación sea mucho más rápida. Por esta razón se suelen utilizar con aguas no muy sucias que contengan partículas de tipo inorgánico, o como elementos de seguridad después de hidrociclones, filtros de arena o equipos de fertirrigación. El agua, que circula en el sentido de la flecha, penetra en la zona A del filtro, de donde

el tamaño de los orificios, es decir, su número de mesh. Para esto último un criterio usado comúnmente es que el tamaño del orificio sea aproximadamente $1/7$ del menor diámetro de paso del gotero, valor que se puede elevar a $1/5$ en el caso de microaspersión. El empleo de mallas más finas no es recomendable porque aumenta la frecuencia de las limpiezas y los problemas potenciales que acompañan a la colmatación de las mallas. La superficie de malla se calcula en función del caudal Q , incrementado en un 20 por 100 en concepto del margen de seguridad, y en función de los valores aceptables de la velocidad real.

Filtros de anillas

El elemento filtrante es un conjunto de anillas ranuradas que se comprimen unas contra otras al roscar la carcaza, formando un cilindro de filtrado. El grado de filtrado depende del número de ranuras existente en las anillas y oscila entre 0,42 y 0,11 mm. Una ventaja de estos filtros es que la limpieza se realiza fácilmente abriendo la carcaza y aplicando a las anillas un chorro de agua. Este tipo de filtros se lo puede visualizar en la Figura 2.13.

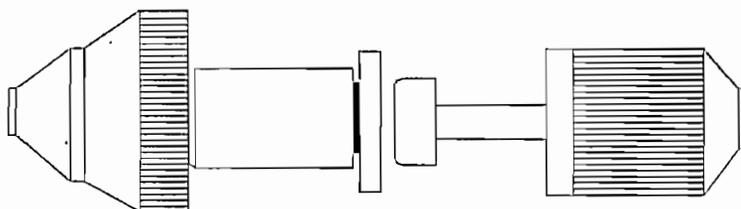


Figura .13.- Filtro de Anillas

Tratamiento de aguas

Los tratamientos del agua de riego tienen por objeto combatir las obturaciones ocasionadas por microorganismos o por precipitados químicos. Este estudio es muy extenso y complejo en el cual se emplean técnicas químicas y biológicas para eliminar los microorganismos, por lo que se tocará levemente para no salir del tema principal.

Existen dentro de estos, los tratamientos alguicidas en depósitos, el cloro como oxidante y biocida, el carbonato cálcico, precipitados de Fe, Mn y S, etc.

Fertirrigación

Una consecuencia del enorme éxito de los RLAF ha sido la aparición de un nuevo vocablo técnico, "fertilización", que significa sencillamente la aplicación de abonos disueltos en el agua de riego. Y precisamente la fertilización es uno de los protagonistas de la revolución tecnológica que ha supuesto esta nueva técnica de riego, que no es sólo eso sino, sobre todo, una nueva técnica de cultivo.

Uno de los efectos de los RLAF es que las raíces se concentran en un volumen de suelo más limitado que en el caso de riegos no localizados, lo que obliga a aplicar los abonos también de forma localizada y frecuentemente. El abonado tradicional se hace con tan poca frecuencia no porque sea conveniente para los cultivos, sino para ahorrar mano de obra en su distribución. En cambio, la aplicación de abonos mediante

Inyector de fertilizantes y agroquímicos tipo venturi

Los inyectores MAZZEI funcionan muy eficazmente por presión diferencial en base al principio de Venturi.

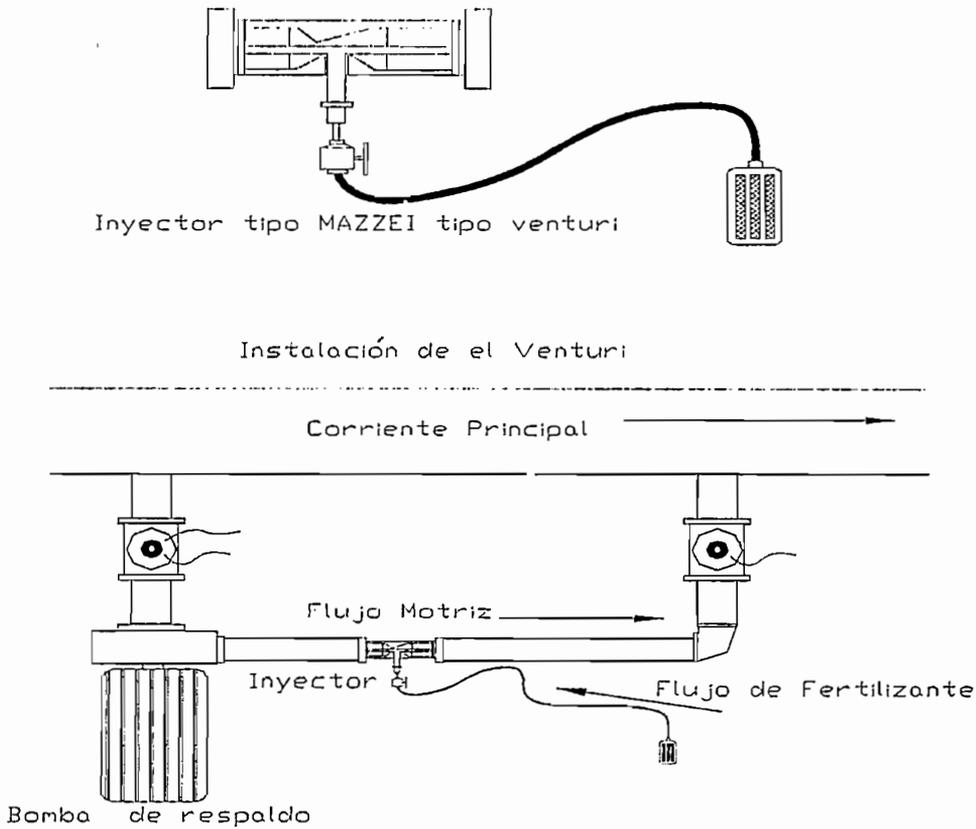


Figura 2.14.- Inyector de Fertilizantes y su ubicación en el sistema

Una diferencia de presión entre la boca de entrada y la de salida del inyector causa un vacío, lo cual produce succión en el tubo de aspiración. Esta succión puede utilizarse para inyectar y mezclar fertilizantes y productos químicos para tratamiento de aguas en el flujo del agua. En la mayoría de los modelos los inyectores Mazzei tienen un singular diseño

de control de flujo, o presión a la entrada de la bomba principal.

- Diferencia de presión.
- Porcentaje de diferencia de presión.

Si la diferencia de presión es de 20% o mayor, puede instalarse un método de derivación. Si no existe por lo menos un 20% de diferencia, el inyector debe instalarse en serie con una bomba de refuerzo. Este será, según los datos técnicos de diseño hidráulico, el mecanismo que se adopte para la fertirrigación del sistema de riego en flores de la práctica.

Existen otros métodos de fertirrigación como:

Dosificadores de abono

Son mecanismos que toman el abono de un depósito sin presión y lo inyectan en la red a una presión superior a la del agua de riego. Su accionamiento puede ser eléctrico, hidráulico o por motor de combustión, lo que tiene consecuencia en la automatización de la instalación

Dosificadores eléctricos

Consisten en unas bombas normalmente de pistón o membrana, accionadas por un motor eléctrico. Los caudales varían según los modelos desde 20 l/h hasta más de 600 l/h y además, para cada modelo, se puede regular el caudal, modificando la carrera del pistón o por otro procedimiento.

Dosificadores hidráulicos

Un dosificador hidráulico es una bomba constituida por una pequeña cámara que alternativamente se llena y vacía accionada por la presión de la red de riego. Cuando la cámara se llena, el dosificador succiona abono de un depósito y cuando se vacía, lo inyecta en la red. El dosificador se coloca en paralelo con la tubería de riego, preferiblemente entre dos puntos donde haya una cierta diferencia de presión. El circuito que proporciona el agua a presión para accionar el dosificador continúa en una tubería de drenaje, por la que se pierde un volumen de agua de aproximadamente el doble del fertilizante inyectado.

Aparatos de control y medida

Contadores

Existen gran variedad de contadores de agua, algunos de los cuales no cumplen un requisito muy importante: además de medir el caudal instantáneo deben ser totalizadores. Otros requisitos a tener en cuenta en la elección de un contador son la precisión, sensibilidad al aire e impurezas del agua, pérdida de carga que ocasionan y por supuesto, su costo. De los muchos tipos existentes se tiene los siguientes:

- Contador Woltman.
- Contador proporcional.
- Rotámetro.

diámetro. Compiten con los de ultrasonidos hasta diámetros del tipo de 600 mm, a partir del cual los electromagnéticos son más caros. También son costosas las revisiones.

Transmisión de datos de los contadores

En la programación de riego por volúmenes, como se verá más adelante, se corta el riego cuando se ha utilizado una cantidad de agua previamente establecida. La automatización de esta operación requiere que el aparato programador del riego reciba información de las lecturas de los contadores. Algunos tipos de contadores, como el electromagnético, llevan incorporado el sistema de transmisión de datos, pero en los convencionales no ocurre así normalmente.

Al funcionamiento de este contador electromagnético se lo puede ver en la Figura 2.15.

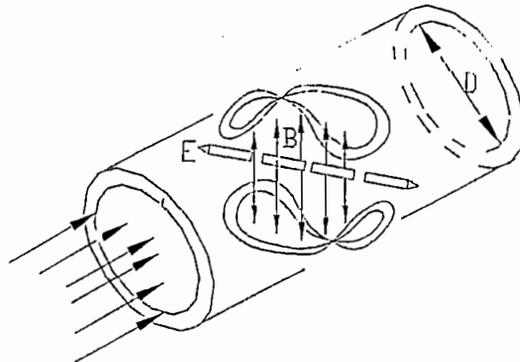


Figura 2.15.- Principio del Contador Magnético

Manómetros

El manómetro permite conocer la presión existente en cualquier punto del sistema de riego, es por esto que se lo

- Mantener la uniformidad de riego. El caso típico es el de los reguladores que se instalan al principio de cada subunidad de riego.
- Proteger las instalaciones contra presiones excesivas, ahorrando el mayor costo de instalar elementos de un valor más alto.

Existen muchos tipos de reguladores de presión:

- De muelle.
- De nivel hidráulico.
- Derivados de la válvula hidráulica.
- De gran diámetro.

A continuación se describirá al regulador de presión tipo muelle que es el que se usa en el proyecto:

Regulador de muelle

El regulador de muelle es el de uso más extendido en RLAF, sobre todo los de pequeño diámetro, que se instalan al principio de las subunidades. Consiste en una carcasa, generalmente de polipropileno o latón, que aloja un obturador empujado por un muelle. El muelle tiende a mantener al obturador en la posición de máxima apertura. La presión aguas abajo actúa sobre la superficie A en sentido opuesto al muelle y tiende a cerrar el paso del agua. La presión aguas arriba no afecta al desplazamiento del obturador, ya que actúa sobre las caras B y

Para determinar cual regulador se va a usar hay que tomar en cuenta otras condiciones:

- Presión nominal si no es regulable, y si lo es, límites máximo y mínimo de presión.
- Rango de caudales. Algunos modelos necesitan un caudal mínimo de cierta importancia para empezar a actuar, y todos, naturalmente, presentan un límite máximo de caudal.
- Precisión, que debe estar comprendida entre ± 7 por 100 de la presión nominal.

Los reguladores de muelle se fabrican en diámetros de hasta 250 mm. En RLAF son de uso muy frecuente los de diámetro entre 25 y 63 mm, que pueden regular presiones desde 5 hasta 50 PSI, para este proyecto se escogerá reguladores de presión para cada subunidad en presiones de 15 PSI y dependiendo del caudal que se tenga al abrir esa subunidad.

Limitadores de caudal

Es un aparato que mantiene constante el caudal aguas abajo, a un valor que se llama caudal nominal del limitado. Cuando el caudal que llega al aparato es menor que el nominal, deja pasar la totalidad; cuando el caudal es mayor, el limitador reduce automáticamente la sección de paso, haciendo que no se supere el valor nominal. Estos, actúan en función de la diferencia de presión a ambos lados del limitador.

Existen varios tipos de limitadores de caudal. En RLAF los más utilizados son los de diafragma. Hay otros modelos, de muelle o derivados de válvulas hidráulicas. No se considerará el uso de un limitador de caudal ya que el diseño del sistema de riego va a ser encaminado a la mayor exactitud posible sin riesgos de sobredimensionamiento, esto para reducir costos en el proyecto total.

Válvulas

Existen gran cantidad de tipos de válvulas como la de compuerta, de bola, mariposa, de tres vías, multivías, hidráulicas, con sus variedades como son la electroválvula, reguladora de presión, limitadora de caudal, volumétrica etc.

Este estudio se referirá a las electroválvulas o llamadas también válvulas solenoides ya que con ellas se automatizará completamente el sistema.

Electro-válvulas

Una electroválvula es una válvula hidráulica en la que la válvula multivías no está accionada por una orden hidráulica sino por una orden eléctrica. El eje de la multivías se desplaza arriba o abajo por la fuerza generada en un solenoide que se activa cuando se cierra un circuito eléctrico. Así se tiene un mecanismo que abre o cierra el paso del agua en respuesta a una orden eléctrica, en combinación con otros mecanismos puede actuar como reguladora de presión, limitadora

de caudal, o volumétrica. Existen dos tipos; las normalmente abiertas, que se cierran al recibir la orden eléctrica y las normalmente cerradas, que se abren al recibir la orden.

Generalmente las electroválvulas son del tipo normalmente cerradas y sólo abren cuando les llega la señal eléctrica, de esta forma se evita que una interrupción en el suministro eléctrico abra las válvulas. No obstante, también hay modelos del tipo normalmente abiertas.

La válvula consta de un cuerpo en forma de Y cuyo interior está dividido en dos zonas aisladas entre sí. En la zona inferior, que es por donde circula el agua, hay un disco, que arrastrado por un eje, puede desplazarse hacia arriba o abajo. En la posición más baja, el disco apoya en un asiento y cierra totalmente el paso del agua. La posición más alta corresponde a la máxima apertura de la válvula, y en las posiciones intermedias la válvula está parcialmente abierta, permitiendo el paso del agua y ocasionando una cierta pérdida de carga.

La forma exterior de una electroválvula típica se encuentra en la Figura 2.17.

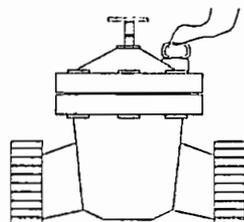


Figura 2.17.- Apariencia exterior de una Electroválvula

La zona superior de la válvula es una cámara separada en dos espacios por un diafragma, que por medio de una pieza metálica está unido al eje, de forma que cuando el diafragma se desplaza hacia arriba, arrastra al eje y al disco de la zona inferior, abriendo la válvula. Generalmente también se puede accionar manualmente.

Las electroválvulas son elementos fundamentales en la programación de riego por tiempos por medio de un microcomputador más un circuito adicional, se puede ordenar el momento de inicio y fin de riego.

Aunque pueden funcionar a voltajes normales (110 ó 220 v), lo usual es que el solenoide trabaje a 12 ó 24 voltios, para evitar riesgos. Ello requiere el uso de pequeños transformadores y limita la longitud de los cables. El consumo eléctrico del solenoide es despreciable. Por ejemplo, en una electroválvula de 3/4", el consumo es de 6 vatios. Generalmente requieren una presión mínima para realizar la apertura, del orden de pocos PSI. Los fabricantes deben informar de las instrucciones de montaje, intervalo de presiones en que opera la electroválvula y pérdida de carga en función del caudal.

Esquema de una instalación de riego

La Figura 2.18 muestra el esquema de una instalación de RLAF. El agua llega al cabezal de riego con la presión necesaria mediante bombeo, gravedad desde un depósito, procedente de una

red comunitaria, etc. Las instalaciones que proporcionan la presión no figuran en el esquema.

El cabezal de riego es el conjunto de elementos que permiten el tratamiento del agua de riego, su filtrado y medición, el control de la presión y la aplicación de fertilizantes.

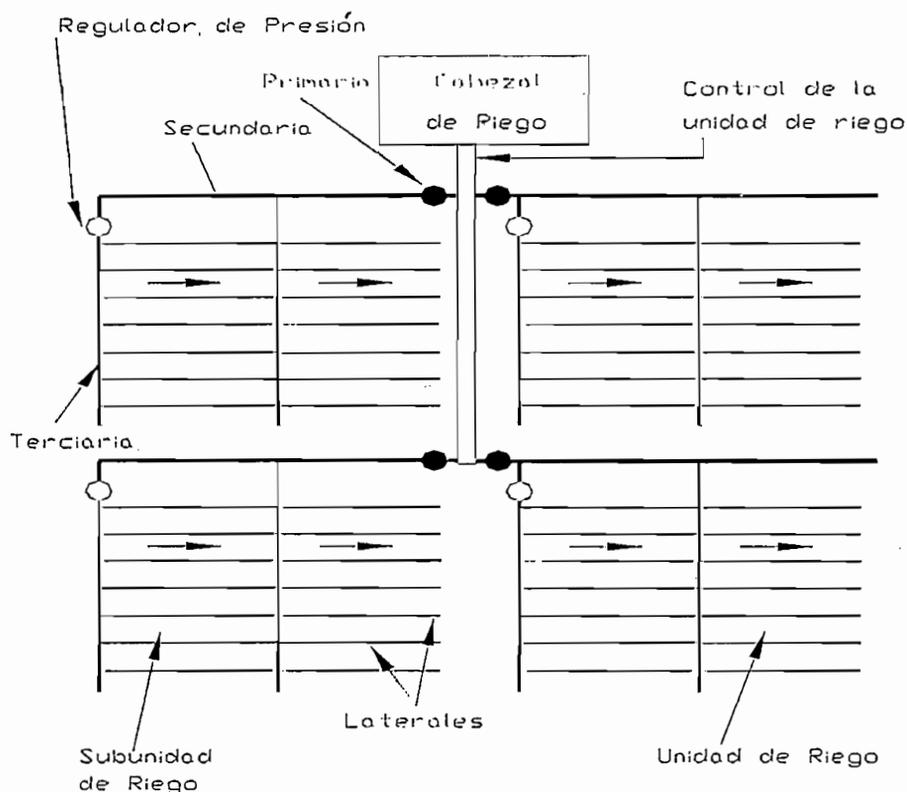


Figura 2.18.- Esquema de instalación de RLAF

Del cabezal parte una red de tuberías que se denominan primarias, secundarias, etc., según su orden. Estas denominaciones rara vez producen confusión. Según esto se tiene, que lateral, es la tubería de último orden, en la que se conectan los emisores de riego. En el caso de riego con cinta extendida a lo largo de la hilera de plantas, estos elementos

Esquema de un cabezal de riego

El cabezal de riego es el elemento central de la instalación. Su composición puede variar mucho según los casos.

Por ejemplo, hay instalaciones en que los fertilizantes se aplican en el propio cabezal mientras que en otras la aplicación se realiza en el origen de las unidades de riego. Por tanto el esquema que se presenta a continuación en la Figura 2.19, debe interpretarse como una solución frecuente pero no única, aquí se muestra la secuencia lógica en que se deben instalar.

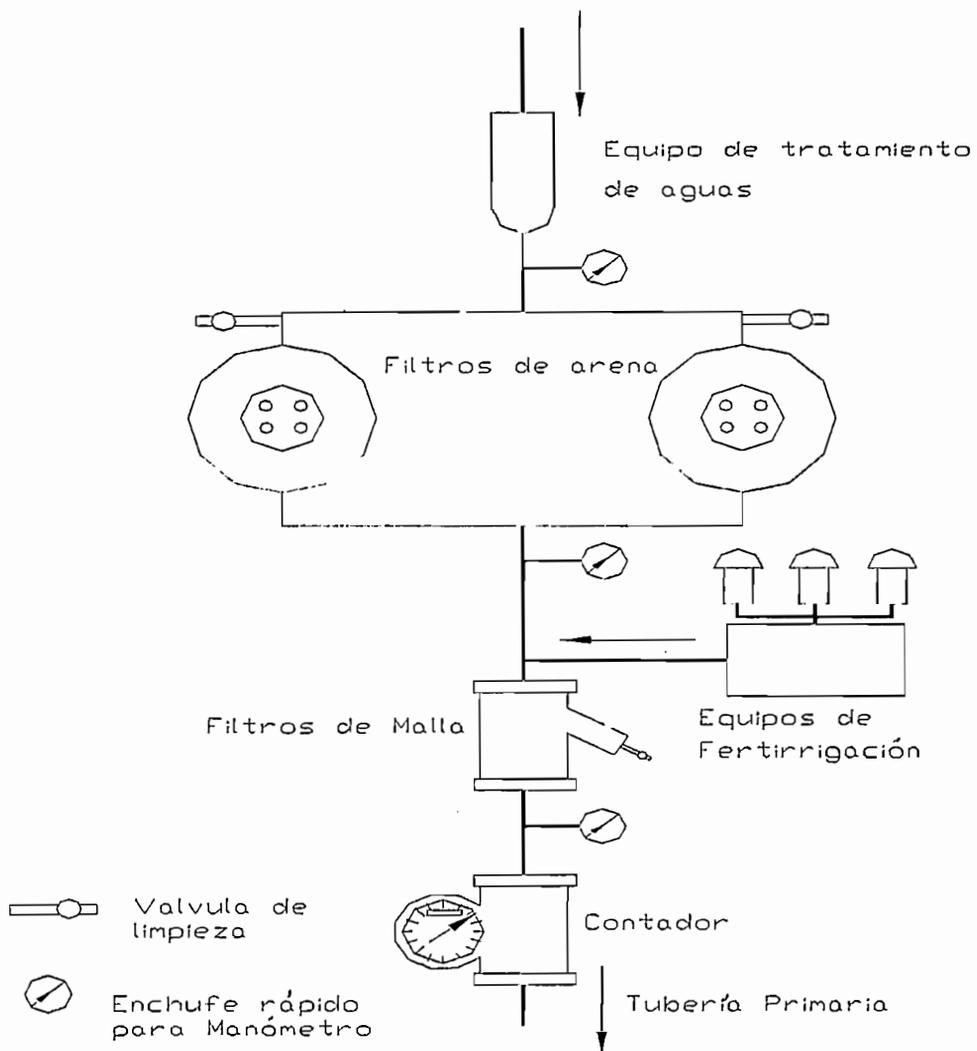


Figura 2.19.- Esquema de Cabezal de RLAF

El primer elemento que aparece es el equipo de tratamiento de agua. Con frecuencia las aguas de riego presentan unos problemas para su aplicación en RLAF que no tienen importancia con otros sistemas de riego. Estos problemas están relacionados generalmente con las obturaciones de los emisores y la solución típica consisten en el filtrado, pero hay situaciones en que el filtrado debe complementarse con un tratamiento periódico del agua.

Los filtros de arena son elementos típicos de los cabezales, que se usan sobre todo para eliminar impurezas de tipo orgánico tales como algas, restos de insectos, etc., y pequeñas partículas minerales. Son imprescindibles cuando el agua no procede directamente de pozos, sino que ha sido previamente almacenada en depósitos donde fácilmente se desarrollan las algas. Conviene instalar siempre un mínimo de dos filtros, con objeto de que en la limpieza por circulación inversa de un filtro se utilice el agua previamente filtrada por el otro. Existen además los sistemas de decantadores, hidrociclones, etc.

A continuación del filtro de arena se instala el equipo de fertirrigación. No debe ir antes de los filtros para evitar la absorción de fertilizantes por las arenas y sobre todo para no crear en los tanque de filtrado un ambiente rico en nutrientes que favorecería el desarrollo de algunos microorganismos. El equipo de fertirrigación consta de los depósitos de fertilizantes y de los mecanismos de aplicación del abono.

Los depósitos suelen ser de materiales resistentes a los ácidos, ya que hay abonos líquidos de pH próximos a 1.

En los mecanismos de aplicación del abono hay gran diversidad. Así los tanques de abonado, por los que circula el agua de riego diluyendo y arrastrando el abono allí depositado.

Otros sistemas son las bombas inyectoras, que pueden ser de accionamiento eléctrico, de gasolina o hidráulico, aprovechando la propia presión del agua de riego. Bastante utilizados son los inyectores de abono tipo vénturi.

Siempre hay que colocar filtros de malla aguas abajo del equipo de fertirrigación. Estos filtros retienen las impurezas, sobre todo de tipo mineral, que puedan atravesar los filtros de arena o procedentes de los abonos. Existen muchos modelos de filtros de malla, la mayoría provistos de mecanismos que facilitan su limpieza; en algunos filtros esa limpieza se realiza automáticamente cuando las obturaciones ocasionan una determinada pérdida de carga. Con frecuencia se utilizan filtros de anillas en vez de filtros de malla.

Tanto los filtros de arena como los filtros de malla necesitan una limpieza periódica. El momento adecuado se determina por medio de Manómetros que permiten conocer las pérdidas de carga en los distintos filtros. Con objeto de evitar errores debido a diferencias en el calibrado de los distintos Manómetros, una medida muy práctica consiste en instalar tomas de conexión rápida que permitan realizar todas las lecturas con el mismo manómetro.

Un elemento imprescindible del cabezal es el contador de agua. Hay contadores de diversos tipos, pero el más frecuente es el proporcional, que es más económico que el de tipo Woltman.

Estos elementos, además de indicar el caudal instantáneo deben ser totalizadores. Algunos modelos permiten la transmisión eléctrica de datos, lo que facilita la automatización del riego.

Además de los elementos descritos, los cabezales pueden constar de otros muchos, la mayoría de los cuales automatizan las funciones del cabezal: comienzo y fin de riego, aplicación de fertilizantes, limpieza de filtros, registro de caudales, etc. Dentro de los automatismos, un capítulo importante lo constituyen los hidráulicos, que pueden realizar funciones de regulación de presión, limitación de caudal, eliminación de aire o de sobrepresiones, cierre en caso de averías y un largo etc., pero aquí se referirá en especial a los mecanismos eléctricos de automatización como son las válvulas solenoides.

2.2 EMISORES, SUBMATICES, MATICES, FILTRADO, BOMBEO, FERTILIZACIÓN, FUMIGACIÓN Y SUBLIMACIÓN

Para la realización del diseño completo del sistema de riego se tiene que seguir un esquema paso a paso para que comenzando por calcular la cantidad de agua necesaria por emisor y el tiempo de riego por sector, llegar hasta el

dimensionamiento de bombas, motores etc., atravesando por el diseño de terciarios, submatrices , matrices etc. Así:

- Cálculo de las necesidades totales de agua por planta.
- Número de emisores por planta.
- Caudal medio del emisor.
- Escoger emisor según caudal, necesidades, presiones, etc.
- Dosis y tiempo de riego.
- Plano topográfico.
- Caudal de líneas finales de riego.
- Cálculo de cuantas líneas se puede manejar por válvula.
- Cálculo de válvulas.
- Cálculo de reguladores de presión.
- Distribución de la red de riego.
- Caudal de terciarios.
- Caudal de laterales.
- Diámetros y régimen de presiones en terciarios y laterales.
- Caudal de secundarios.
- Caudal de primarios.
- Diámetros y régimen de presiones en secundarios y primarios.
- Cabezal.
- Cálculo del sistema de fertirrigación.

- Diagrama de conducción del sistema de fumigación.
- Bomba y motor de la fumigación.

Luego de desarrollar a fondo este capítulo, se tendrá los datos necesarios para realizar el diseño eléctrico de todos los parámetros que intervienen en el sistema de riego.

Siguiendo con el diseño agronómico en el proyecto se sabe que:

$$Nt \text{ (Necesidades Totales)} = 5,70 \text{ mm/d}$$

$$Nt \text{ día por cama} = 1m * 30m * 0,0057m = 0,171m^3/día$$

Lo que da un resultado de 1,197 metros cúbicos de agua por semana, con esto se tiene las necesidades que de las plantas y se puede determinar ahora que tipo de emisor es el más adecuado.

Dentro de los emisores que se tiene previsto para las plantas existen varias exigencias como son: si se tiene una línea de 30 metros de largo el caudal de los primeros emisores debe ser similar al de los últimos. Este se consigue con goteros autocompensados los cuales, a más del costo de la manguera en la que deben ser insertados, introducen el costo del gotero y el costo de la inserción, por lo cual se debe optar por un nuevo producto inventado por técnicos de los Estados Unidos.

Este producto es el T-TAPE DRIP IRRIGATION, descrito anteriormente, que consiste en una cinta de fácil manejo e instalación, que tiene incluidos los goteros en un novedoso sistema de canal de flujo turbulento a un espaciamiento

Hay además, la variedad de dos tipos de goteros el High flow y el Low flow. Se recomienda el High flow para tener menor tiempo de riego con mayor caudal por emisor.

Se ha visto anteriormente que se utilizará la cinta de goteo T-TAPE de 15 mil de espesor, con goteros espaciados cada 20 cm en Hi-Flow, con lo que se tiene un caudal de 40 GPH por cada 100 pies, debido a que las camas que están distribuidas en los lotes de los dos bloques, como se ve en la Figura 2.20 del plano de lotes, cada cama es de 30 metros de largo de 1 metro de ancho. Se vio la utilización de dos cintas de goteo por cada cama, con lo cual se obtiene un flujo de 80 GPH esto es 1,334 GPM por cama.

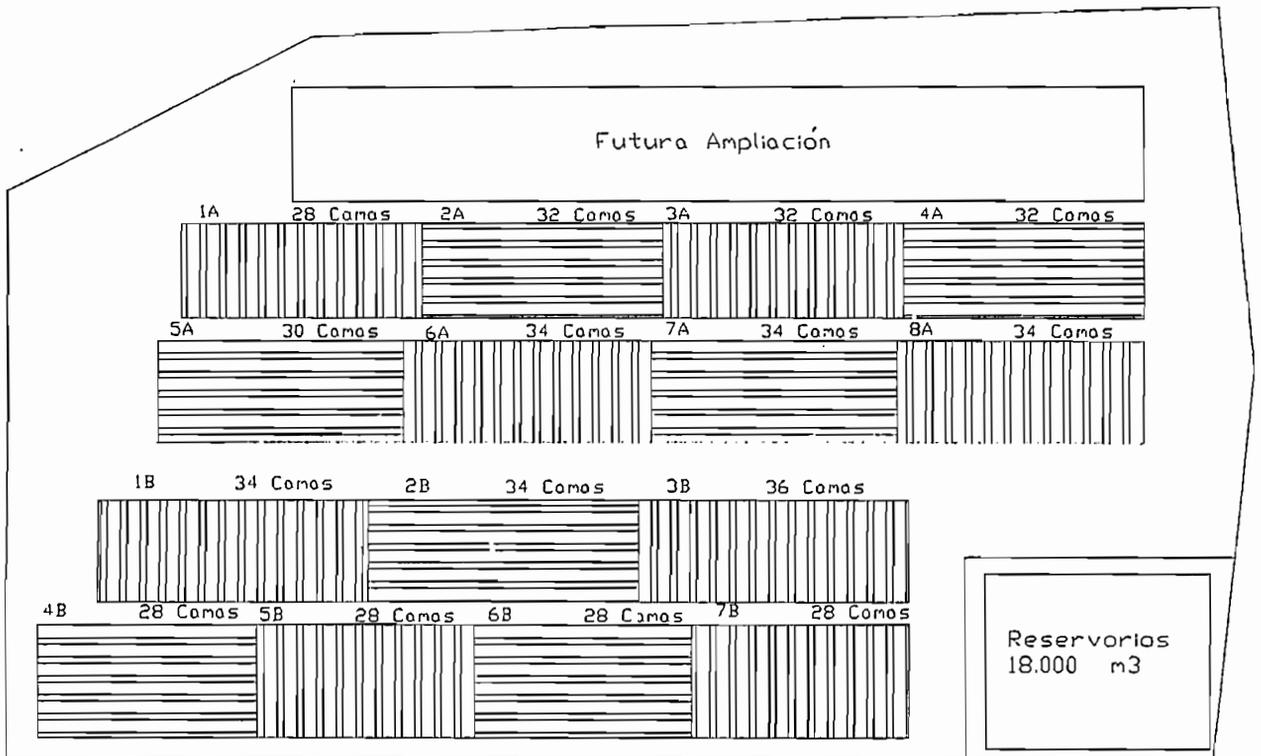


Figura 2.20.- Plano de lotes con camas de siembra

2.1.1 Separación de los bloques en lotes

Se ha separado los dos bloques en lotes, el bloque A tiene 8 lotes, mientras que el bloque B tiene 7. Estos lotes se los divide dependiendo de la construcción de los invernaderos, así se tienen naves de 4 camas por lo que se toma un número par de camas para formar un lote que, para manejar con mayor comodidad, no sólo por asuntos de riego, sino también por siembra, cosecha, fumigación, etc. se los hace en grupos más o menos similares; esto es, que tengan igual número de camas, así se estandarizan elementos de riego.

El bloque A tiene dos sectores el uno con 124 camas y el otro con 132, el bloque B también tiene dos sectores el uno con 104 camas y el otro con 112. Después de hacer varios intentos se ha convenido en dividir en lotes de la siguiente forma:

BLOQUE A			BLOQUE B		
Lote	Número de camas	Caudal (GPM)	Lote	Número de camas	Caudal (GPM)
1A	28	37.33	1B	34	45.33
2A	32	42.66	2B	34	45.33
3A	32	42.66	3B	36	48.00
4A	32	42.66	4B	28	37.33
5A	30	40.00	5B	28	37.33
6A	34	45.33	6B	28	37.33
7A	34	45.33	7B	28	37.33
8A	34	45.33			

Tabla 2.3.- Número de camas y caudal por lote.

En la tabla 2.3, se lista los diferentes lotes con el número de camas y el caudal que necesitan las cintas de gotero en cada lote.

2.1.2 Líneas Terciarias

La capacidad de la línea terciaria que es la que se conectará a la cinta de goteo, se lo hace siguiendo la tabla del Anexo 5 y, para estandarizar las mismas, se ve que en el diseño se toman los datos en base a la velocidad del agua de 5 pies por segundo. Así se tiene que para determinada magnitud de tubería a esa velocidad del agua se permite un determinado caudal máximo que es el que se utiliza para el diseño, esto se puede ver en la tabla 2.4.

DIÁMETRO DE TUBERÍA		CAUDAL MÁXIMO
según Norma		
ASTM (pulg)	ISO (mm)	
1/2	20	3
3/4	25	7
1	32	13
1 1/4	40	20
1 1/2	50	28
2	63	50
2 1/2	75	80
3	90	110
4	110	200
6	160	450
8	200	800
10	250	1200

Tabla 2.4.- Caudal máximo según el Diámetro de la tubería

Al pasarse del límite de caudal máximo, puede traer problemas de rupturas o fisuras en la misma, por lo que se diseña pensando en estar siempre bajo el 10% de este límite de caudal máximo. Aquí se tiene un cuadro considerando el diámetro de la tubería y el caudal que se permite máximo a 5 pies por segundo según sea la norma ASTM en pulgadas o la ISO en milímetros se tiene un caudal que se ha estandarizado en uno sólo, esto se lo hace, ya que se utilizará alternativamente las dos normas, ya que la norma ASTM se la utiliza para los accesorios roscados, y por fabricación nacional, la tubería se lo hace según la norma ISO, existiendo adaptadores que permiten cambiar de una norma a otra los cuales también se los utilizará según sea el caso.

A continuación se traza las líneas de goteo, y para conectarlas se necesita una manguera que sería la línea terciaria que se la escoge según la capacidad de caudal y facilidad de manejo, así para el caudal de la mitad de un lote, ya que la válvula se la colocará en la mitad del mismo, así con una manguera de 40 mm se puede conectar las mangueras de goteo.

Esta conexión entre la manguera de 40 mm y la cinta de goteo es sencillamente en base a adaptadores que van conectados a la manguera de 40 mm vía perforación.

A continuación se tiene que dimensionar el regulador de presión que controlará cada lote y la válvula solenoide que abrirá dicho lote.

2.1.3 Reguladores de Presión

El regulador de presión a escoger depende de la presión a la que se quiere regular y del caudal que va a pasar por el. Se necesita que en las cintas de goteo no se tenga más de 15 PSI y los caudales en los diferentes lotes van de 37,33 a 48 GPM por lo que se recomendará el regulador de presión de 15 PSI de flujo de 5 a 50 GPM que viene en dimensiones de entrada y salida de 1.1/2" rosca hembra.

Según los caudales de cada lote se tiene además que se puede manejar estandarizadamente cada lote con una válvula solenoide de 2".

2.1.4 Líneas de Conexión

Ahora se trazará las líneas que conectarán estas válvulas con la estación de bombeo escogiendo, según el terreno, la vía que más convenga como es, sin atravesar terreno de siembra y acomodarse a la disposición del terreno. Con esto se sigue con el dimensionamiento de las tuberías que conectan las válvulas.

Este dimensionamiento de tubería depende básicamente del caudal que se tiene por lote, el número de lotes que van a funcionar a la vez y procurar la menor cantidad de perdidas teniendo siempre en cuenta la diferencia de costo de cada tubería.

Así, para el lote 5A con caudal de 40 GPM se accede a él con una tubería de 63 mm, para funcionar el lote 1A y el 5A a la vez, se tiene 77,33 GPM, lo cual se accederá con tubería de 75 mm. Pero, en el mercado no existe esta tubería en presión por lo que se tiene como alternativa real la tubería de 90 mm. Para manejar 3 lotes a la vez se necesitaría tubería que maneje 122,66 GPM lo cual se logra con tubería de 110 mm, pero existe una diferencia alta entre subir de 90 a 110 mm en la tubería y sería más conveniente el restringirse a utilizar un máximo de dos lotes por riego en este bloque A, así se conectaría el resto de válvulas solenoides de este bloque en tubería de 90 mm.

El diseño del sistema de riego tiene que siempre estar dimensionado pensando en una futura ampliación, ya que muchas veces se inicia el riego con un presupuesto limitado, y luego se amplía tanto terreno como el riego, por lo que la tubería que va a ir enterrada y no se lo puede cambiar tiene que pensarse en ampliación de caudal futuro. Por este motivo, pensando en una futura ampliación hacia arriba del bloque A y hacia la izquierda del bloque B, se considera tubería de 110 mm que cubriría los dos lotes funcionando en cada bloque y las futuras ampliaciones.

Hay que dividir en secciones por medio de válvulas de compuerta a la tubería para permitir funcionamientos parciales en condiciones de falla, así si por ejemplo existiera una ruptura en la tubería que mantiene el flujo en el bloque A, se cerraría la válvula de compuerta que controla esta línea y se podría proseguir con el riego en el resto del sistema mientras

se realizan las reparaciones necesarias en la tubería afectada evitando con esto pérdidas de tiempo de riego y económicas dependiendo de la época de riego que se encuentren las plantas.

Estas válvulas de compuerta se las ubicará bajo el nivel de piso operándolas a través de una pequeña caja manualmente.

En el bloque A se tiene un máximo de caudal de 90,66 GPM al abrir dos lotes a la vez, en el bloque B se tienen 93,33 GPM, por lo que al abrir dos lotes por bloque se tiene un caudal de 183,99 GPM máximo, dato que se necesitará posteriormente para el cálculo de la bomba que se requerirá y el diseño de la estación de filtrado.

2.1.5 Aspersión Móvil

Como se ha visto en la teoría agronómica, a más del riego por goteo, hay que diseñar adicionalmente un sistema de riego por aspersión para humedecer el terreno en el momento de la siembra o para dar riegos adicionales al goteo en el caso de necesidad.

Así, para este diseño se tiene que tomar en cuenta la longitud de las camas y el caudal que se puede dar según lo antes visto, para conseguir la aspersión que pueda dar cabida a dos lotes de goteo en un bloque y aspersión para el otro bloque.

Por esto se tiene un caudal de 91,99 GPM para la aspersión.

El aspersor tiene que ubicarse de tal forma que exista el máximo de uniformidad en el riego, esto se consigue por medio

del traslape, así como se ve en la Figura 2.21. Deberá además cumplir con las especificaciones que se necesite en este sistema de riego, esto es que se deberá acomodar a lo diseñado en el goteo y cumplir con su objetivo de aspersion con mayor caudal de riego que el goteo, este es uno del tipo de bajo caudal con menor riesgo de compactación del suelo, para lo que se tiene el tipo Wóbbler que da un, riego en forma de paraguas, teniéndose gran uniformidad en el mismo y necesidad de menor presión para su funcionamiento.

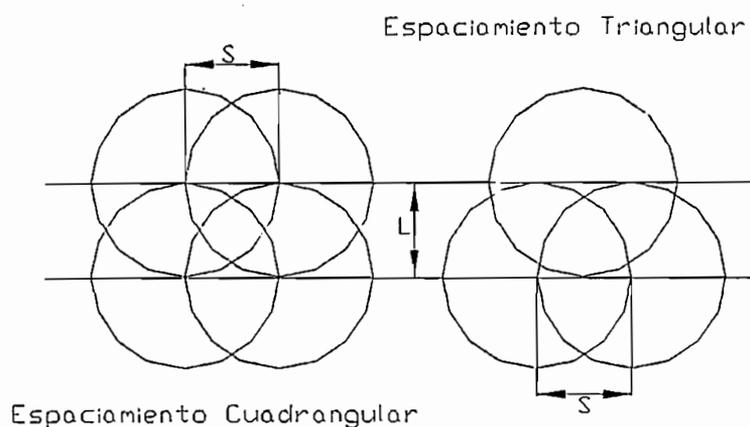


Figura 2.21.- Tipos de espaciamiento en la colocación de aspersores .

El diámetro del círculo que riega el aspersor multiplicado por un factor que va de 0,6 a 0,8 que depende del medio en el que se está regando, así, se multiplica por el factor de 0,6 si se encuentra a la intemperie con vientos más o menos fuertes, y 0,7 cuando se trabaja bajo invernadero todo el tiempo y con viento cero. En este caso se escoge el factor de 0,7 por la posibilidad de regar sin la presencia de invernaderos y con

vientos muy escasos en el caso de tener ya construidos los invernaderos. Así, se encuentra que el espaciamiento que tiene que existir entre un aspersor y el otro viene dado por:

$$\text{Esp} = \text{Dasp} * 0,7$$

Luego de varios cálculos de alternativas se ha escogido que, para el largo de la cama de 30 metros, se utilizarán 3 aspersores por largo de lote conectados en serie a un espaciamiento de 10 metros entre ellos. Con esto quedan 5 metros a cada lado del último aspersor. Viendo las condiciones del aspersor en la tabla del Anexo 5, a diferentes presiones con diferentes boquillas se escogería el Wobbler con boquilla # 8 de 1/8" que a una presión de 30 PSI entrega 2,48 GPM y 48,8 pies de diámetro, esto es 7,4 metros de radio y, comprobando con la fórmula anterior, da un espaciamiento de 10,4 metros entre aspersores. Este tipo de aspersor se lo visualiza en la Figura 2.22.

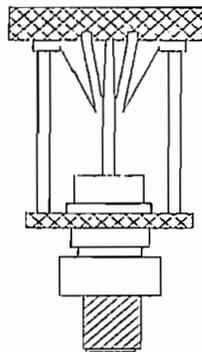


Figura 2.22.- Aspersor Wobbler

Con esto se tiene que se colocarán 3 aspersores por el largo de la cama con un total de 7,44 GPM por hilera de 3 aspersores en manguera de 25 mm que es la que permite este caudal y se utilizará la mitad del caudal para aspersión; esto es, 91,99 GPM. Así se tendrá cabida para 37 aspersores que, en grupos de 3, posibilitaría a 12.36 grupos. Se recomienda 12 grupos de 3; esto es, 36 aspersores y dos lotes de goteo del otro bloque pueden funcionar al mismo tiempo.

2.1.6 Cálculo de pérdidas

A continuación se calcula la presión necesaria en todo el sistema, considerando pérdidas por fricción en toda parte del mismo. Esto se hace en base a la fórmula de Hazen-Williams (Arkal Filters; Israel), que dice:

$$H_f = 1045 \frac{(Q/C)^{1.852}}{ID^{4.857}}$$

donde:

H_f = pérdida de presión en pies debida a la fricción

ID = diámetro interior de la tubería en pulgadas

C = Coeficiente de la tubería

a) PVC = 150

b) Acople de aluminio = 120

c) Hierro galv / Asbeto cemento = 140

d) Acero = 100

Q = Caudal en galones por minuto

Esta fórmula ha sido resumida en ábacos en los que se dan los resultados directamente, así: se ajusta el caudal bajo el índice adecuado, dependiendo de que material es la tubería, luego se lee la pérdida de presión en PSI por cada 100 pies al diámetro de tubería correspondiente. Así, por ejemplo para 13 metros de tubería de 63 mm en un caudal de 40 GPM se pierde 1.1 PSI por cada 100 pies con lo cual se tiene una pérdida en los 13 metros de 0,47 PSI por fricción del agua. Con esto se calcula la pérdida en PSI en el punto más lejano del sistema de goteo, y luego se calculará las pérdidas producidas por el sistema de aspersión en el punto más lejano.

Para el sistema de goteo, se necesita una presión de 15 PSI luego del regulador de presión que va a las cintas de goteo, antes del regulador de presión, se coloca la válvula solenoide que riega el lote 5A, a continuación se calcula las pérdidas de presión por cada tramo según su caudal hasta llegar a la estación de bombeo, considerando riego de dos lotes por bloque:

Longitud de Tubería (m)	Diámetro (mm)	Caudal (GPM)	Pérdida de Presión (PSI por 100 pies)	Total de Pérdida (PSI)
13	63	40.00	1.10	0.47
183	90	77.33	0.55	3.30
145	110	77.33	0.19	0.90
30	110	170.66	0.90	0.88

Tabla 2.5.- Pérdida de presión por diámetro de tubería

Se tiene un valor de un 10 % del total que se estima para accesorios como son codos, tees, adaptadores, válvulas, etc.

Esto es 22,61 PSI de pérdida a la salida de la estación de bombeo.

A continuación se calculará las pérdidas en el sistema de aspersión móvil para humedecimiento, tomando en cuenta los 12 grupos de 3 aspersores cada uno localizados en el punto más alejado, y considerando que el aspersor se lo utilizará a 30 PSI:

Longitud de Tubería (m)	Diámetro (mm)	Caudal (GPM)	Pérdida de Presión (PSI por 100 pies)	Total de Pérdida (PSI)
10	25	2.48	0.300	0.0980
10	25	4.96	0.550	0.4900
12	25	7.44	3.000	1.1800
10	63	7.44	0.050	0.0160
10	63	14.88	0.017	0.0550
10	63	22.32	0.038	0.0124
10	63	29.76	0.650	0.2130
10	90	37.20	0.150	0.0490
10	90	44.64	0.200	0.0650
10	90	52.08	0.270	0.0880
10	90	59.52	0.350	0.1148
10	90	66.96	0.440	0.1443
10	90	74.40	0.550	0.1804
10	90	81.84	0.650	0.2132
10	90	89.28	0.750	0.2460
105	90	89.28	0.750	2.5830
145	110	89.88	0.260	1.2360
30	110	182.61	1.000	0.9880

Tabla 2.6.- Pérdida de presión según la longitud de tubería.

Aquí también se utilizará un valor de un 10 % del valor total que se estima para accesorios, con lo cual se tiene 41,89 PSI de pérdidas a la salida de la estación de bombeo.

2.1.7 Estación de bombeo

Para dimensionar la bomba que se utilizará se tiene que calcular las pérdidas que existen desde el punto de la succión hasta la salida de la estación de bombeo de 41,89 PSI hacia el riego.

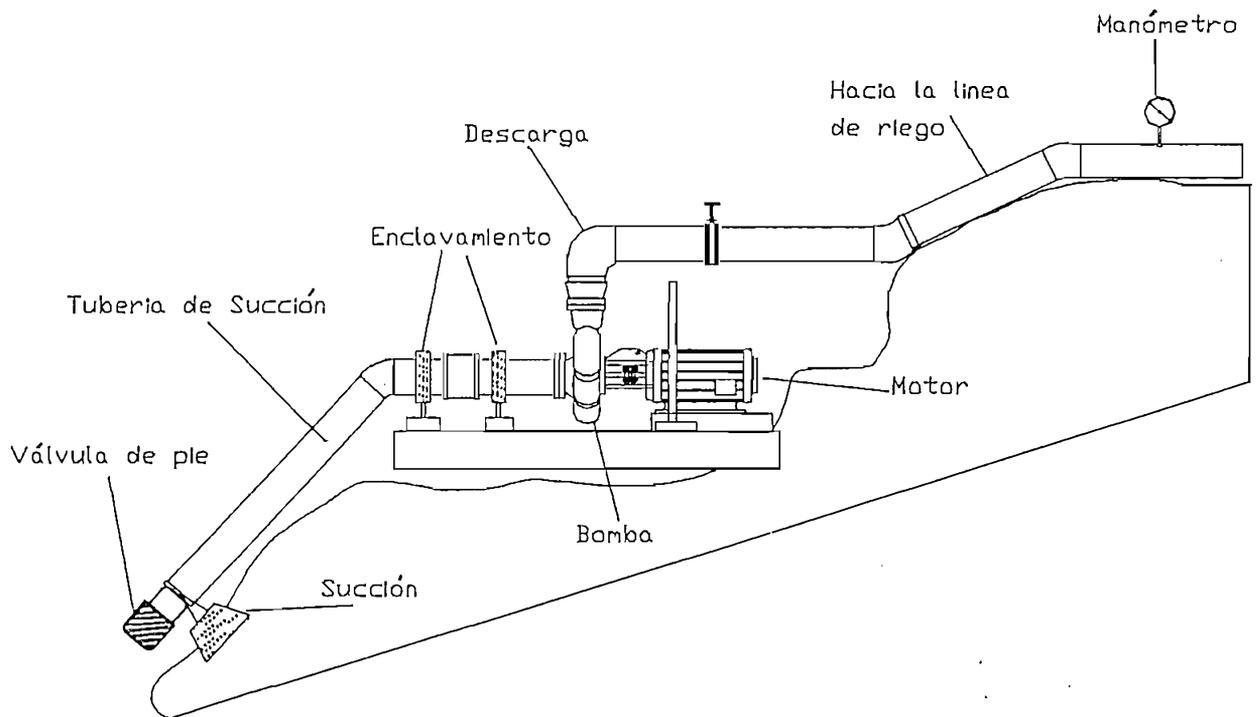


Figura 2.23.- Ensamble de succión y descarga en un grupo de bombeo

Así, según la Figura 2.23 de la instalación de bombeo típica, a la salida de la succión se pierde 1 pie de presión por fricción, lo cual equivale a 0,43 PSI. Desde el nivel de agua hasta la succión de la bomba se tiene 4 metros de altura máxima, lo que da una pérdida de 5,68 PSI, 2 pies adicionales por la pérdida en la válvula de pie esto es 0,865 PSI, luego se tiene

la descarga de la bomba a 1 metro de altura lo que equivale a una pérdida de 1,42 PSI, la fricción de la descarga es de 2 pies, 0,865 PSI. Esto da un total de 9,26 PSI de pérdida en el bombeo luego, en la estación de filtrado se pierde de 5 a 10 PSI, por mayor seguridad se tomará el valor mayor, total del sistema de riego de 61,15 PSI siempre se tiene que dar un porcentaje de seguridad de un 10 %, lo cual da una presión necesaria en la bomba de 67,265 PSI.

Se necesita una bomba con caudal de 183,99 GPM con presión de 67,265 PSI.

2.1.8 Presiones de tuberías

Una vez dimensionada la estructura del riego en su globalidad, a más del diámetro de la tubería se tiene que dimensionar el rango de presión en el que va a trabajar y hacerlo de tal forma que exista holgura en el caso de alguna sobrepresión, pero que también no exceda el costo de los materiales que se implementarán, ya que una tubería de mayor presión es más costosa que una de menor.

No se tiene dificultad de presión en cuanto a la tubería para el goteo, pero en la aspersion se presentan rangos de presión más altos.

La siguiente tabla 2.7, muestra rangos de presión para los que vienen estandarizadas las tuberías, especificadas en MPA (designación de tubería por presión) con su respectivo valor de

presión máximo, hay que tomar en cuenta que, por seguridad, el dimensionamiento de la tubería se aumenta en un 15 %.

Rango de Presiones	
MPA	ISO (presión max. PSI)
0.50	72
0.63	91
0.80	116
1.00	145
1.25	181
1.50	212

Tabla 2.7.- Rango de presiones

En el diseño de la bomba se tiene una presión pico de 67,26 PSI que multiplicada por un factor de 15 % da 77,35 PSI. Se escoge tubería entonces de 63 mm, de 90 mm, y de 110 mm en 0,63 MPA.

2.1.9 Estación de filtrado

Se necesita filtros de arena y filtros de malla debido a la condición de goteo.

En el diseño de los filtros de arena hay que determinar las siguientes características:

- Tipo de arena
- Espesor de la capa o capas de arena
- Superficie filtrante

La Figura 2.24 presenta la estación típica de filtrado.

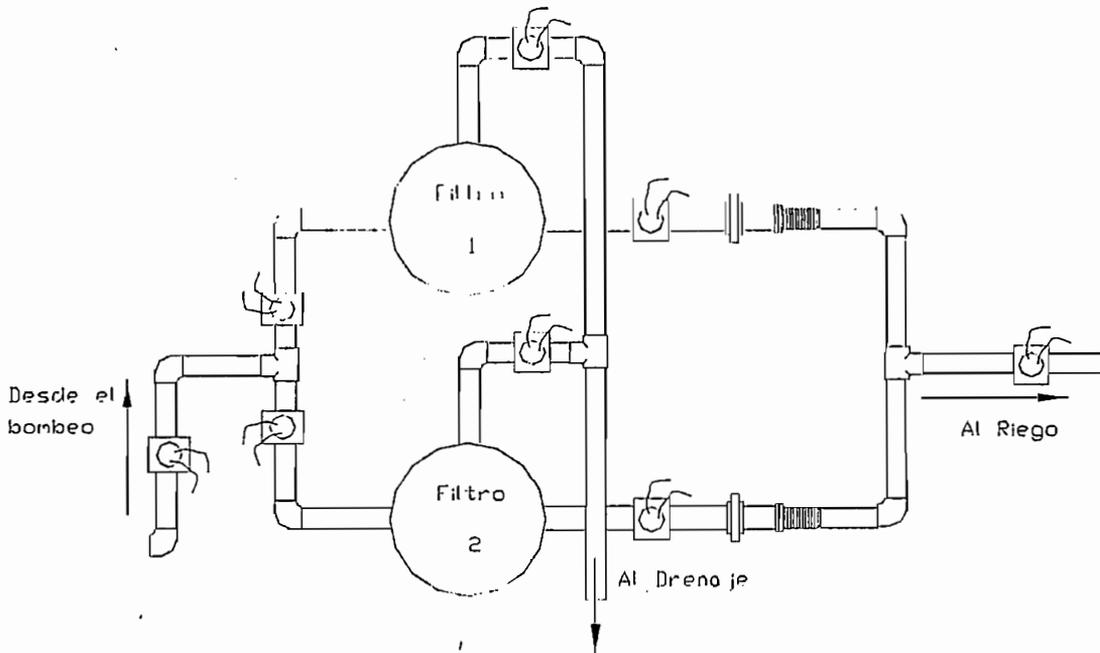


Figura 2.24.- Estación de Filtrado

Los datos necesarios son el caudal y el diámetro de los emisores. El espesor de la capa debe ser como mínimo de 50 cm.

Para el cálculo de la superficie filtrante el caudal debe aumentarse en un 20% en concepto de margen de seguridad y se aplica el criterio de que la velocidad media del agua no supere 60 m/h es decir, $60\text{m}^3/\text{h}$ por m^2 de superficie de filtro. Si la velocidad es muy inferior a 60 m/h el filtro estará sobredimensionado y su costo será excesivo aunque la limpieza será menos frecuente.

Para caudal de 183,99 GPM esto es por un 20 % adicional y transformándolo, por facilidad en m^3/h se tiene un valor de 50,24 m^3/h . La velocidad v es igual a 60 m/h con lo que la superficie $S = Q/v$ viene dado por $50,24/60 = 0,837 \text{ m}^2$.

Si se instala un sólo filtro su diámetro debe ser:

$$D > \sqrt{(4 * S / \text{Pi})}$$

$$D > 1,032 \text{ m}$$

Se puede instalar un filtro de 1,1 m de diámetro, pero se prefiere la solución de dos filtros para facilitar la limpieza de cada uno con el agua filtrada por el otro:

$$S = 0,837\text{m}^2 / 2 = 0,418 \text{ m}^2$$

$$D > 0,73$$

Se instalan dos filtros de 0,8 m de diámetro.

Para diseñar el filtro de malla hay que determinar la superficie de la malla y el tamaño de los orificios, es decir, su número de mesh, un criterio es que el tamaño del orificio sea aproximadamente 1/7 del menor diámetro de paso del gotero. La superficie de malla se calcula en función del caudal Q, incrementado en un 20 % en concepto de margen de seguridad, y en función de los valores aceptables de la velocidad real.

Así para este diseño, si los goteros tienen diámetro mínimo de 0,8 mm se elige en tablas una malla de acero de 150 mesh, con un tamaño de orificio menor que 114 micras. El caudal incrementado en un 20% es de 220,788 GPM que es igual a 50,24 m³/h pero debido a que se utilizará dos filtros de arena, se tiene previsto colocar un filtro de malla después de cada filtro de arena, por lo cual se lo diseñará para la mitad del caudal, esto es para 25,12 m³/h. Para un tamaño de orificio de 114

micras, la velocidad de agua debe estar comprendida entre 0,4 y 0,6 m/sg, aceptando 0,4 m/sg, se tiene que el caudal debe ser de 446 m³/h por m² de área total de filtro. El filtro de malla deberá tener una superficie S:

$$S > 25,12 / 446 = 0,056323 \text{ m}^2$$

Se elige un filtro de diámetro 2".

En cuanto a su ubicación, se los coloca luego de cada filtro de arena, y estos vienen después del sistema de bombeo.

2.1.10 Inyección de fertilizantes

Para el diseño del sistema de fertilización se ha previsto un tanque de 1 m³ y un inyector de fertilizantes tipo vénturi Mazzei, apoyados de una bomba de impulsión como se vio en la Figura de fertirrigación.

Para seleccionar el Mazzei se necesita los requerimientos en flujo motriz (flujo a través del inyector) y capacidad de succión, el flujo motriz no debe ser mayor que el flujo total del sistema de riego.

Así, físicamente para escoger el Mazzei necesario se siguen los siguientes pasos:

1. Se determina la presión de entrada del inyector en PSI, que mas se acerca a la máxima presión obtenible.

2. Se determina la presión de salida del inyector en PSI, que mas se acerca a la presión requerida para hacer funcionar el sistema.
3. Se localiza el modelo de inyector cuya tasa de succión excede los requisitos de inyección necesarios.

Según estos datos el modelo del inyector de fertilizantes a usarse es el 2081, que con un flujo motriz de 101 GPM con una presión de entrada de 50 PSI y de salida de 25 PSI en el inyector, se tiene un líquido succionado de 500 GPH. Se utilizará como apoyo la instalación de una bomba centrífuga, la cual incrementa la presión a través del inyector, esto causa mayor diferencia de presión produciendo vacío para la inducción del producto químico corriente abajo a partir de la bomba. Este modelo 2081 tiene succión y descarga en 2". Los accesorios necesarios para la instalación del inyector están listados en la proforma de materiales.

2.1.11 Fumigación

Dentro de la fumigación existen dos sistemas, el fijo y el móvil. En el sistema móvil el bombeo, ya sea a gasolina o eléctrico, se mueve por toda la plantación y se extiende mangueras de fumigación con sus respectivas pistolas, pero para la automatización de este sistema se usará un bombeo de fumigantes fijo, ubicado en la estación de bombeo principal junto con todo el equipo de riego así, se tendrá todos los

elementos de la automatización en el mismo espacio sin incluir las válvulas solenoides que se encuentran en el campo.

El plano de distribución de tubería de fumigación se encuentra en la Figura 2.25.

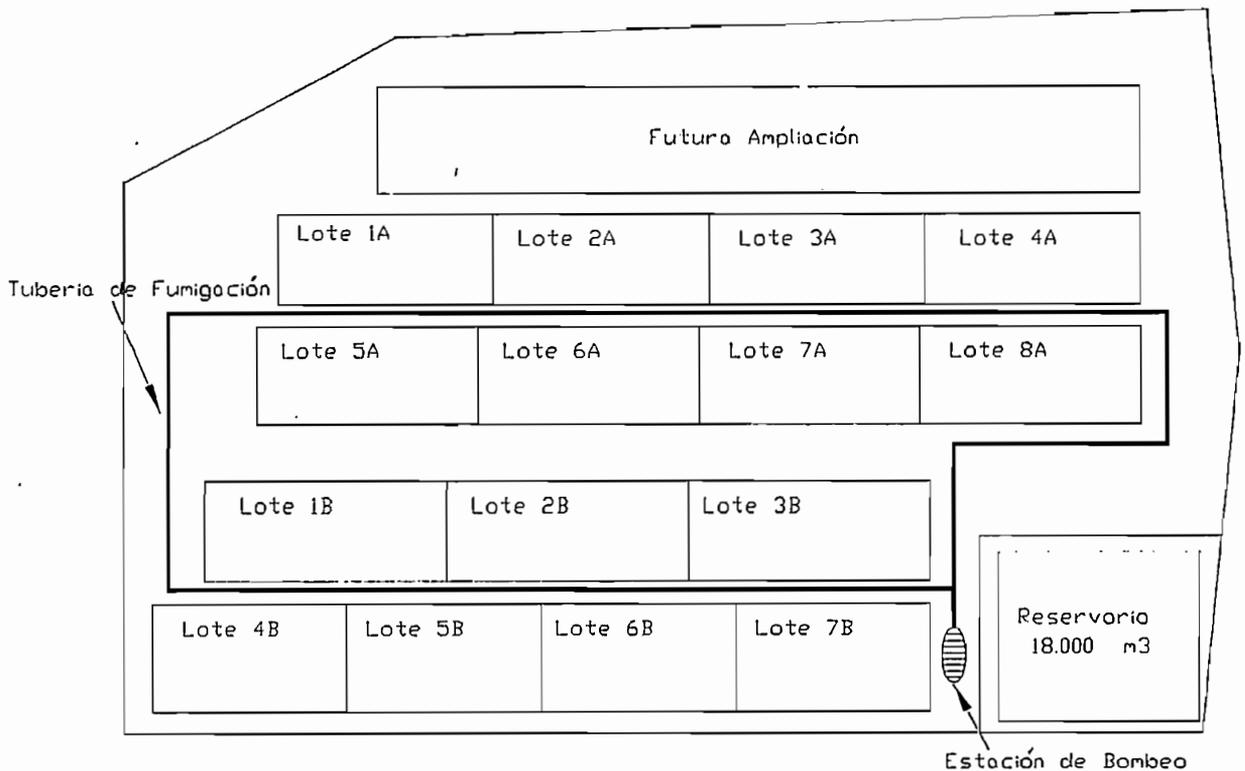


Figura 2.25.- Plano de Fumigación

Así, el sistema de fumigación consta de una bomba de altísima presión, el funcionamiento óptimo tendrá que ser entre las 400 y 700 PSI, que comparando con la presión de funcionamiento de la bomba de riego de 60 PSI, es de gran diferencia.

Esta bomba se basa en el funcionamiento de pequeños pistones de cerámica que se mueven a gran velocidad comprimiendo a altísima presión el líquido succionado del tanque de fumigación de 2 m³, impulsándolo luego a través de tubería de PVC

roscable debido a las altas presiones que se manejan hacia salidas en 1/2" en distintos y determinados puntos del campo, para de allí conectar la manguera en un tipo de acople rápido y extenderse a través de las camas que ésta salida cubre. Los caudales que se tienen para esparcir fumigantes van de entre 2 a 4 GPM.

En el plano de distribución de tubería de fumigación de la Figura 2.25, se optó por iniciar luego de la estación de bombeo con tubería de PVC roscable de 1", para luego abrirse en dos partes de 3/4" y cerrar el circuito en la parte del fondo de la instalación, este circuito cerrado lo que ayuda es a que las presiones dentro de todo el sistema de fumigación se mantengan y no suceda que al principio, o las primeras válvulas tengan mayor presión que las últimas ya que esto daría una distinta fumigación en cada sector de la plantación. Además, con el circuito cerrado se puede duplicar el caudal que contiene la tubería de 3/4".

2.1.12 Sublimadores

En el diseño para el funcionamiento de sublimadores se tiene en cuenta que estos son recipientes de azufre que por medio de electricidad queman el mismo produciéndose gas, el cual se esparce por el sector aledaño liquidando hongos que se producen en las plantaciones de flores. Este proceso se lo realiza en la noche debido a que ninguna persona puede

encontrarse en el interior de las naves cuando se está sublimando, debido a su toxicidad.

Se ubicará 1 sublimador por lote, en total habrá 15 sublimadores controlados desde el cuarto de bombeo.

En resumen se tienen los siguientes elementos calculados que se recomiendan para la instalación de la parte hidráulica del sistema de riego:

- Se separará el Bloque A en 8 lotes de entre 28 a 34 camas por lote, el bloque B se lo separará en 7 lotes de entre 28 y 34 camas por lote.
- Cinta de goteo T-TAPE de 15 mil de espesor, con goteros espaciados cada 20 CM en Hi-Flow.
- Línea terciaria se recomienda manguera de 40 mm.
- Regulador de presión de 15 PSI de flujo de 5 a 50 GPM con entrada y salida de 1 1/2".
- Válvula solenoide de 2".
- Línea secundaria de 90 mm.
- Línea principal de 110 mm.
- 36 aspersores Wobbler con boquilla #8 de 1/8" en manguera de 25 mm, espaciados a 10.4 m.
- Bomba con caudal de 183.99 GPM con presión de 67.265 PSI.
- Dos filtros de arena de 0.8 m de diámetro.
- Filtros de malla de 2", 150 mesh.
- Inyector de fertilizantes tipo Mazzei modelo 2081 con succión y descarga de 2".

- Bomba de fertilización de apoyo de 500 GPH a presión de 25 PSI.
- Bomba de fumigación de entre 2 a 4 GPM a presión de entre 400 y 700 PSI.
- Un sublimador por lote.

2.2 TIEMPOS DE FUNCIONAMIENTO

Para el goteo, en base al T-TAPE escogido, se tiene el flujo según el largo de la cinta y de ahí se obtiene el tiempo que se necesita regar dicha cinta para obtener el caudal requerido para llegar a el Nt de la semana para obtener el tiempo necesario que se regará dicha cama por semana.

Así, escogiendo dos hileras de T-TAPE 15 mil por cama, de 8 pulg. (20cm) de espaciamiento de goteros, y gotero high flow, de acuerdo a las tablas que para una presión de 15 PSI se tiene un flujo de 40 GPH (galones por hora) o 0,67 GPM (galones por minuto) cada 100 pies de largo, con lo que da un total de 80 GPH o 1,34 GPM en toda la cama, ahora se sabe que se necesita en una cama 1,197 metros cúbicos de agua de riego por semana, realizando las siguientes transformaciones en las que se llegara a metros cúbicos por hora partiendo de galones por hora pasando por litros por segundo que son todos caudales con los que se ve en cuantas horas se logrará llegar a dar el agua necesaria para esa cama con el T-TAPE escogido:

$$80 \text{ GPH} = 1,34 \text{ GPM} = 0,08428 \text{ LPS} = 0,3034 \text{ MCH}$$

con lo que se tiene que: $1,197 \text{ m}^3 / 0,3034 \text{ m}^3/\text{h} = 3,945$ horas por semana, lo cual se puede espaciar en, por ejemplo 4 días de 1 hora de riego diarias o cualquier otra alternativa que variará dependiendo de las condiciones de la plantación, y que por medio del programa que se desarrollará en esta tesis se tendrá el control absoluto vía microcomputadora del tiempo y veces que se quieran regar.

Para calcular el tiempo de riego del aspersor existe la siguiente fórmula:

$$\text{Tiempo de aplicación} = (\text{GPM/asp}) * 96,3/\text{S} * \text{L}$$

(pulgadas por hora)

Donde teniendo el caudal en galones por minuto del aspersor su espaciamiento horizontal y espaciamiento vertical en pies, se tiene el tiempo de aplicación en pulgadas por hora, medida que multiplicada por 25,4 se tendrá los milímetros de agua que se aplicarán en una hora en disposición de aspersores en cuadrado.

Aplicando esta formula se tendrá 2,48 GPM por aspersor, un S = 32,8 pies y un L = 32,8 pies con lo cual:

$$\text{mm/hora} = (2,48 * 96,3 / 32,8 * 32,8) * 25,4 = 5,63 \text{ mm/h}$$

lo que implica que en disposición de cuadrado con espaciamiento de 10 metros entre aspersor y aspersor con un caudal de 2,48 GPM si se riega 1 hora se tiene una capa de 5,63 mm de espesor de agua.

Con este valor se puede jugar, ya que si por ejemplo se necesita darle al terreno que se está iniciando una capa de 4 mm de agua diariamente, se le proporciona diariamente 42,6 minutos de riego o un riego continuo de 4 horas 58 minutos un día a la semana con lo cual se cubriría el requerimiento de toda la semana del terreno. Pero esto ya es materia de planificación de riego de la finca.

CAPÍTULO 3

DISEÑO ELÉCTRICO

En ésta sección se desarrollará todos los parámetros eléctricos del sistema de riego, en base a los datos obtenidos en el diseño hidráulico. Aquí se diseñarán las bombas y motores eléctricos a utilizarse en el sistema, el arrancador de los motores que se tendrá en funcionamiento, las válvulas solenoides y los sublimadores.

3.1 ARRANCADOR DE BOMBAS

Bomba Principal

Existen las curvas de funcionamiento de todas las bombas, además la fórmula que dará la potencia necesitada por la misma en base a los datos que se tienen:

$$\text{BHP} = \frac{\text{GPM} * \text{TDH}}{3960 * \text{EFF}}$$

donde:

BHP es la potencia requerida por la bomba en HP.

GPM es el caudal que la bomba debe dar en Galones por minuto.

TDH es el valor total de presión requerida en pies.

EFF es la eficiencia que se piensa tendrá la bomba en %.

Esta eficiencia se tiene en parámetros máximos de un 80 % para bombas muy eficientes pero casi no se las encuentra o son muy costosas, en el mercado existen eficiencias entre el 60 y 70 por 100, se escogerá un valor intermedio de 65%.

Aplicando la fórmula al caso en cuestión:

$$\text{BHP} = \frac{183,99\text{GPM} * 155,37\text{pies}}{3960 * 0,65} = 11,1 \text{ HP}$$

Puesto que 10 HP o 15 HP que son los valores nominales que existen, se sugiere la bomba marca Goulds monoblock de 15 HP trifásica.

Datos técnicos:

Bomba Principal marca Goulds

- Construcción: Carcaza de Hierro
- Potencia: 15 HP
- Amperaje a carga total: 39.4/ 19.7 A
- Fases: 3
- Voltaje: 208-230/460 V
- Frecuencia: 60 Hz
- Diámetro de impeler: 7"
- Tamaño: - Succión 2" - Descarga 1 1/2"
- Presión: - Nominal 160 pies - Máxima 290 pies
- Caudal: 250 GPM a 3500 RPM

Bomba de Fertilizantes

Los requerimientos de la bomba de fertilizantes, son el de impulsar 500 GPH (Galones por hora) de substancia Química, a una presión entre 25 y 40 PSI, con lo cuál, se tiene que:

$$BHP = \frac{(500/60)GPM * (40 * 2.29)pies}{3960 * 0,65} = 0.30 \text{ HP}$$

Se sugiere la Bomba para inyección de químicos marca Teel monoblock de 1/3 HP monofásica.

Datos técnicos:

Bomba de Fertilizantes marca Teel

- Construcción: Acero Inoxidable para Químicos
- Potencia: 1/3 HP
- Fases: 1
- Voltaje: 115/230 V
- Frecuencia: 60 Hz
- Amperaje a carga total: 2.25 A
- Tamaño: - Succión 1" - Descarga 1"

- Presión: - Nominal 35 pies - Máxima 44 pies
- Caudal: 11 GPM a 3450 RPM

Bomba de Fumigantes

Los requerimientos de la bomba de fumigantes, son el de impulsar de entre 2 a 4 GPM de sustancia Química, a una presión entre 400 y 700 PSI, con lo cuál aplicando la formula, se tiene que:

$$BHP = \frac{3GPM * (500 * 2.29) \text{ pies}}{3960 * 0,65} = 1.33 \text{ HP}$$

Se sugiere la Bomba para inyección de químicos marca Teel monoblock de 1 1/2 HP trifásica.

Datos técnicos:

Bomba de Fumigación marca Teel

- Construcción: - Exterior: Hierro
 - Interior: Acero Inoxidable para Químicos
 - Pistones: Cerámica
- Potencia: 1 1/2 HP
- Fases: 3
- Voltaje: 115/230 V
- Frecuencia: 60 Hz
- Amperaje a carga total: 10.2 A
- Tamaño: - Succión 1" - Descarga 1"
- Presión: - Nominal 500 PSI pies - Máxima 800 PSI
- Caudal: 3 GPM a 1800 RPM

Para el diseño eléctrico de los arrancadores hay que tener en cuenta que se podrá actuar de dos formas, la manual en la que se puede encender la bomba directamente aplastando el pulsador correspondiente y la automática basada en la utilización de un

relé para que por medio de la señal de 5 voltios de la salida digital de la tarjeta DAS-128, se obtenga el funcionamiento del contactor de arranque de las bombas.

El arranque de las tres bombas, esto es de la bomba principal de 15 HP trifásica, de la bomba de fertilizantes de 1/3 HP monofásica, y la bomba de fumigación de 11/2 HP trifásica, se puede hacer de forma similar y se lo puede ver en la Figura 3.1.

Para la bomba principal de 15 HP trifásica se dispone de:

- Contactor Allen-Bradley 230V, 45A, 3 contactos de fuerza y 2 contactos auxiliares

Permite el arranque de la bomba principal ya sea de forma manual o automática, y sus contactos realizan la función de enclavamiento de este contactor y permiten el arranque de la bomba de fertilización, ya que estas dos bombas deben funcionar juntas cuando se desea fertilizar.

- Control de nivel Square D tipo GG-2 120V, para motor 15 HP

Si el nivel de agua en el reservorio no es el adecuado, este control apagará el contactor principal abriendo sus contactos tanto de enclavamiento como de funcionamiento de la bomba de fertilizantes.

- Relé de falla de fase Allen-Bradley Voltaje de control 120V, Rango de corriente 20-75A

Si existe falla de fase, este relé apagará el contactor principal, abriendo sus contactos.

- Relé térmico Allen-Bradley máxima corriente a full carga 45A, corriente de carga 10A

Al producirse sobretensión, ya sea por sobre carga o falla, este relé apagará el contactor principal, abriendo sus contactos.

- Pulsador de encendido Allen-Bradley 120V, 60A, corriente de carga 10A

Permite el arranque de la bomba principal a través del contactor principal cuando se encuentra en la forma de funcionamiento manual.

- Pulsador de apagado Allen-Bradley 120V, 60A, corriente de carga 10A

Permite el apagado de la bomba principal a través del contactor principal cuando se encuentra en la forma de funcionamiento manual.

- Relé para automatización Allen-Bradley 120V, 60A, corriente de carga 10A

Permite la automatización del sistema, recibiendo la señal de arranque desde la tarjeta de adquisición de datos, permite el paso de corriente para el funcionamiento del contactor principal y abre este paso de corriente cuando se quiere apagar la bomba.

- Luces indicadoras

Se encenderán si la bomba principal se encuentra funcionando ya sea en forma manual o automática.

- Conmutador Manual-Automático Allen-Bradley

Permite el funcionamiento tanto en forma manual a través de los pulsadores o de forma automática a través del relé de automatización.

Para la bomba de fertilizantes de 1/3 HP monofásica se dispone de:

- Contactor Allen-Bradley 115V, 9A, 1 contacto de fuerza y 1 contacto auxiliar

Permite el arranque de la bomba de fertilizantes ya sea de forma manual o automática, y sus contactos realizan la función de enclavamiento de este contactor.

- Control de nivel Square D tipo GG-2 120V, para motor 1/3 HP
Si el nivel de fertilizantes en el tanque no es el adecuado, este control apagará el contactor de la bomba de fertilizantes abriendo su contacto de enclavamiento.

- Relé térmico Allen-Bradley máxima corriente a full carga 45A, corriente de carga 10A

Al producirse sobretensión, ya sea por sobre carga o falla, este relé apagará el contactor de la bomba de fertilizantes, abriendo sus contactos.

- Pulsador de encendido Allen-Bradley 120V, 60A, corriente de carga 10A

Permite el arranque de la bomba de fertilización a través de su contactor cuando se encuentra en la forma de funcionamiento manual.

- Pulsador de apagado Allen-Bradley 120V, 60A, corriente de carga 10A

Permite el apagado de la bomba de fertilizantes a través de su contactor cuando se encuentra en la forma de funcionamiento manual.

- Relé para automatización Allen-Bradley 120V, 60A, corriente de carga 10A

Permite la automatización del sistema, recibiendo la señal de arranque desde la tarjeta de adquisición de datos, permite el paso de corriente para el funcionamiento del contactor de la bomba de fertilización, y abre el circuito cuando se tiene que apagar la bomba.

- Luces indicadoras

Se encenderán si la bomba de fertilizante se encuentra funcionando ya sea en forma manual o automática.

- Conmutador Manual-Automático Allen-Bradley

Permite el funcionamiento tanto en forma manual a través de los pulsadores o de forma automática a través del relé de automatización.

Para la bomba de fumigación de 11/2 HP trifásica se dispone de:

- Contactor Allen-Bradley 230V, 18A, 3 contactos de fuerza y 1 contactos auxiliares

Permite el arranque de la bomba de fumigación ya sea de forma manual o automática, y sus contactos realizan la función de enclavamiento de este contactor.

- Control de nivel Square D tipo GG-2 120V, para motor 11/2 HP

Si el nivel de fumigantes en el tanque no es el adecuado, este control apagará el contactor de la bomba de fumigación abriendo su contacto de enclavamiento.

- Relé de falla de fase Allen-Bradley Voltaje de control 120V, Rango de corriente 5-20A

Si existe falla de fase, este relé apagará el contactor de la bomba de fumigación, abriendo sus contactos.

- Relé térmico Allen-Bradley máxima corriente a full carga 45A, corriente de carga 10A

Al producirse sobrettemperatura, ya sea por sobre carga o falla, este relé apagará el contactor de la bomba de fumigación, abriendo sus contactos.

- Pulsador de encendido Allen-Bradley 120V, 60A, corriente de carga 10A

Permite el arranque de la bomba de fumigación a través de su contactor cuando se encuentra en la forma de funcionamiento manual.

- Pulsador de apagado Allen-Bradley 120V, 60A, corriente de carga 10A

Permite el apagado de la bomba de fumigación a través de su contactor cuando se encuentra en la forma de funcionamiento manual.

- Relé para automatización Allen-Bradley 120V, 60A, corriente de carga 10A

Permite la automatización del sistema, recibiendo la señal de arranque desde la tarjeta de adquisición de datos, permite el paso de corriente para el arranque o apagado de la bomba de fumigación.

- Luces indicadoras

Se encenderán si la bomba de fumigación se encuentra funcionando ya sea en forma manual o automática.

- Conmutador Manual-Automático Allen-Bradley

Permite el funcionamiento tanto en forma manual a través de los pulsadores de encendido y apagado o de forma automática a través del relé de automatización.

3.2 VÁLVULAS SOLENOIDES

Las electroválvulas deben escogerse según la dimensión de las submatrices que se conectan de la matriz principal a través de estas válvulas. Hay diversidad de marcas y calidad, típicamente se usarán las más accesibles en el mercado y tomando

en cuenta tanto su precio como su calidad. Como ayuda en la búsqueda de la válvula ideal se empleó la fórmula siguiente (Instrumentación Industrial, Creus):

$$K_v = Q \sqrt{\delta / \Delta p} \quad (\text{m}^3/\text{h})$$

$$C_v = 1,16 * K_v \quad (\text{galones por minuto})$$

donde:

K_v = caudal de agua (de 5 a 40°C) en m^3/h que pasa a través de la válvula a una apertura dada y con una pérdida de carga de 1 bar

Q = caudal máximo, en m^3/h

δ = densidad, en g/cm^3

Δp = pérdida de carga, en bar para el caudal máximo

C_v = caudal de agua en galones por minuto que pasa a través de la válvula en posición completamente abierta y con una pérdida de carga de 1 PSI

El caudal máximo Q , tiene que ser mayor al caudal de trabajo entre un 15 a un 60%, esto por motivos de seguridad, siendo el valor más frecuente el de 25%.

Para la densidad del agua, se tiene que tomar un valor entre el 0,8 y el 0,9, ya que en estos casos, el error que se comete no es mayor al 5%.

La pérdida de carga, viene especificada en valores entre 2 y 5 bars, esto dependiendo del tipo de viscosidad del líquido.

Así con los datos que se tienen en el diseño hidráulico:

Caudal = 45.33 GPM con lo que se tiene $Q = 12.85 \text{ m}^3/\text{h}$

Densidad = 0,9

Perdida de carga = 5 bars

$$K_v = 12.85 \sqrt{0,9/5} = 5.45 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

$$C_v = 1,16 * 5.45 = 6.32 \text{ (GPM)}$$

Con estos datos se escoge la válvula en las tablas del fabricante.

Se tiene que la válvula Bermad de 2", se ajusta a las necesidades del sistema, sus datos técnicos son:

- Tipo de Válvula: oblicuo (Y)
- Tamaño: 2"
- Conexión: rosca hembra NPT/BSPT
- Evaluación de Presión: - ISO NP 10
- ANSI Clase 125
- Rango de Presión: 0.7 a 10 kg/cm² (10-150 PSI)
- Rango de Temperatura: Agua hasta 80°C (180°F)
- Datos Eléctricos: - Standard
Voltaje: 24V AC (50-60 Hz)
Corriente de retención: 0.20A
Corriente de entrada: 0.40A
- Voltajes Opcionales: 6V DC, 12V DE
24V DC, 12V AC, 24V AC, 120V AC
- Materiales: - Cuerpo y tapa:
Nylon reforzado
- Partes metálicas:
Acero inoxidable
- Diafragma:
Goma natural
- Juntas:
Buna-N y NR

El diagrama de control de funcionamiento de las válvulas se lo encuentra en la Figura 3.2.

En este diagrama de Control se tiene:

- Relé para automatización Allen-Bradley 120V, 60A, corriente de carga 10A

Permite la automatización del sistema, recibiendo la señal de encendido desde la tarjeta de adquisición de datos, permite el paso de corriente para la apertura o cierre de la válvula.

- Interruptor de encendido y apagado Allen-Bradley 120V, 1A

Para el uso en condición manual, abrirá o cerrará la válvula a deseo del operador.

- Luces Indicadoras

Se encenderán si la válvula se encuentra funcionando ya sea en forma manual o automática.

- Conmutador Manual-Automático Allen-Bradley

Permite el funcionamiento tanto en forma manual a través del interruptor o de forma automática a través del relé de automatización.

3.3 SUBLIMADORES

Los sublimadores se conectan en los postes de armazón de los invernaderos ya que de esa posición pueden cubrir mayor área desde una posición más alta que las plantas. Estos sublimadores son quemadores de azufre que funcionan en pequeñas hornillas eléctricas a 110 voltios con un consumo de 25 wátios, un sublimador por cada dos lotes es una condición muy conveniente, ya que en la practica se ha observado que el cubrimiento es suficiente y adecuado.

El diagrama de control de funcionamiento de sublimadores se lo puede ver en la Figura 3.3 y dispone de los siguientes elementos:

- Relé para automatización Allen-Bradley 120V, 60A, corriente de carga 10A

Permite la automatización del sistema, recibiendo la señal de encendido desde la tarjeta de adquisición de datos, permite el paso de corriente para el encendido o apagado de los sublimadores.

- Interruptor de encendido y apagado Allen-Bradley 120V, 1A

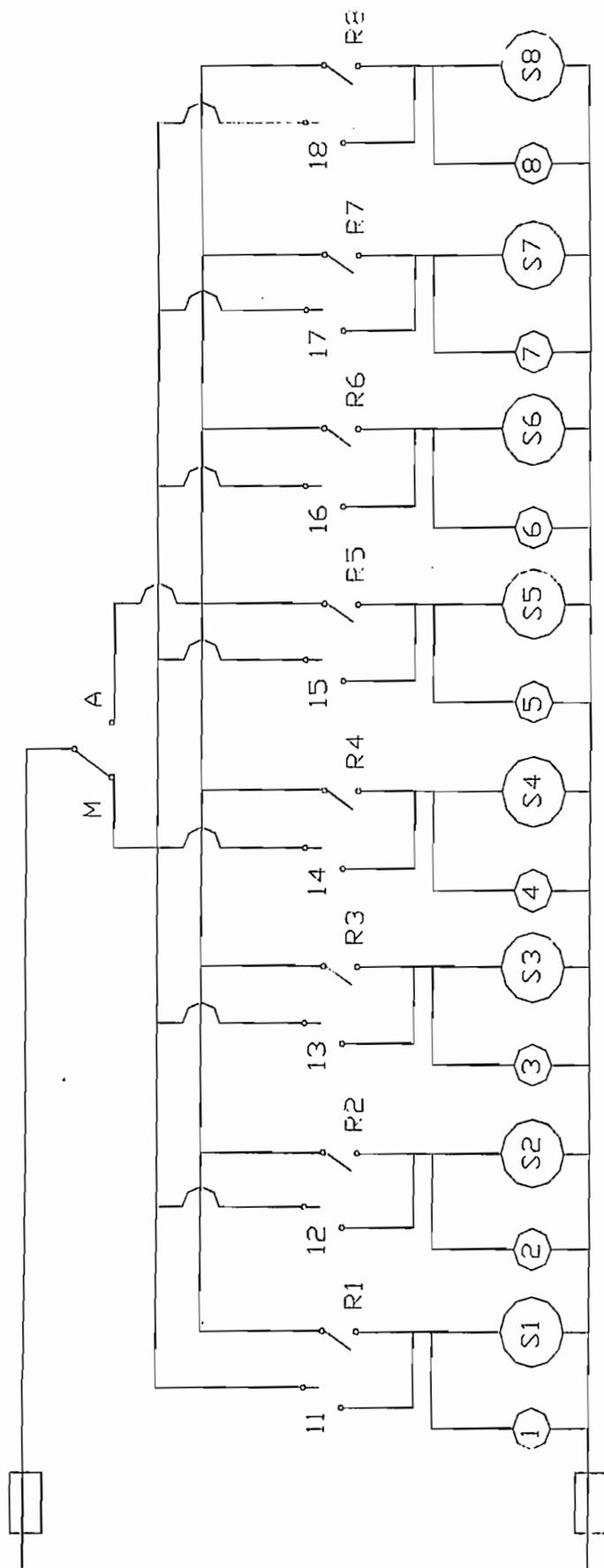
Para el uso en condición manual, abrirá o cerrará la el circuito de los sublimadores a deseo del operador.

- Luces Indicadoras

Se encenderán si el sublimador se encuentra funcionando ya sea en forma manual o automática.

- Conmutador Manual-Automático Allen-Bradley

Permite el funcionamiento tanto en forma manual a través del interruptor o de forma automática a través del relé de automatización.



Luces de encendido

- 1 Sublima 1
- 2 Sublima 2
- 3 Sublima 3
- 4 Sublima 4
- 5 Sublima 5
- 6 Sublima 6
- 7 Sublima 7
- 8 Sublima 8

Sublimadores

- 1 Sublimador 1
- 2 Sublimador 2
- 3 Sublimador 3
- 4 Sublimador 4
- 5 Sublimador 5
- 6 Sublimador 6
- 7 Sublimador 7
- 8 Sublimador 8

- M Manual
- A Automático
- I Interruptor
- R Relé

Figura 3.3.- Diagrama de control de encendido de Sublimadores

Después de realizar los diseños agronómico, hidráulico y eléctrico de todo el sistema de riego, se determinará que elementos entrarán en juego para la automatización del sistema.

Primero debe tomarse en cuenta la cantidad de válvulas que se utilizarán en los distintos procesos, tanto de riego normal, proceso de retrolavado de filtros, fertilización, fumigación y funcionamiento de sublimadores; luego en base a la Figura 4.1, en la que se muestra el plano de distribución de Lotes con válvulas solenoides y elementos sublimadores, la estación de Bombeo Principal con todos los elementos que la conforman, se enumeran y denominan a los distintos elementos. Esta Figura representa el prototipo construido para la simulación del funcionamiento de los elementos y se lo construyó en base a la disposición de lotes de la plantación de flores de Expo-Flor, en Puenbo provincia de Pichincha. Aquí se tiene:

BP	Bomba Principal
BI	Bomba de Fertirrigación
BF	Bomba de Fumigación
1R	Válvula de descarga de la Bomba Principal
2R	Válvula de descarga hacia el Riego
1F, 2F	Válvulas de entrada al Filtro 1 y 2
3F, 4F	Válvulas de lavado del Filtro 1 y 2
1I	Válvula de entrada al inyector de fertilizantes
2I	Válvula de salida del inyector de fertilizantes
1Q	Válvula de descarga de Fumigación
1A, 2A, 3A, 4A, 5A, 6A, 7A, 8A	Válvulas del Bloque A
1B, 2B, 3B, 4B, 5B, 6B, 7B	Válvulas del Bloque B
1S, 2S, 3S, 4S, 5S, 6S, 7S, 8S	Sublimadores
Sensores de Humedad	Sensor 1, Sensor 2, Sensor 3 Sensor 4, Sensor 5, Sensor 6 Sensor 7
Contador de Caudal	Sensor 8

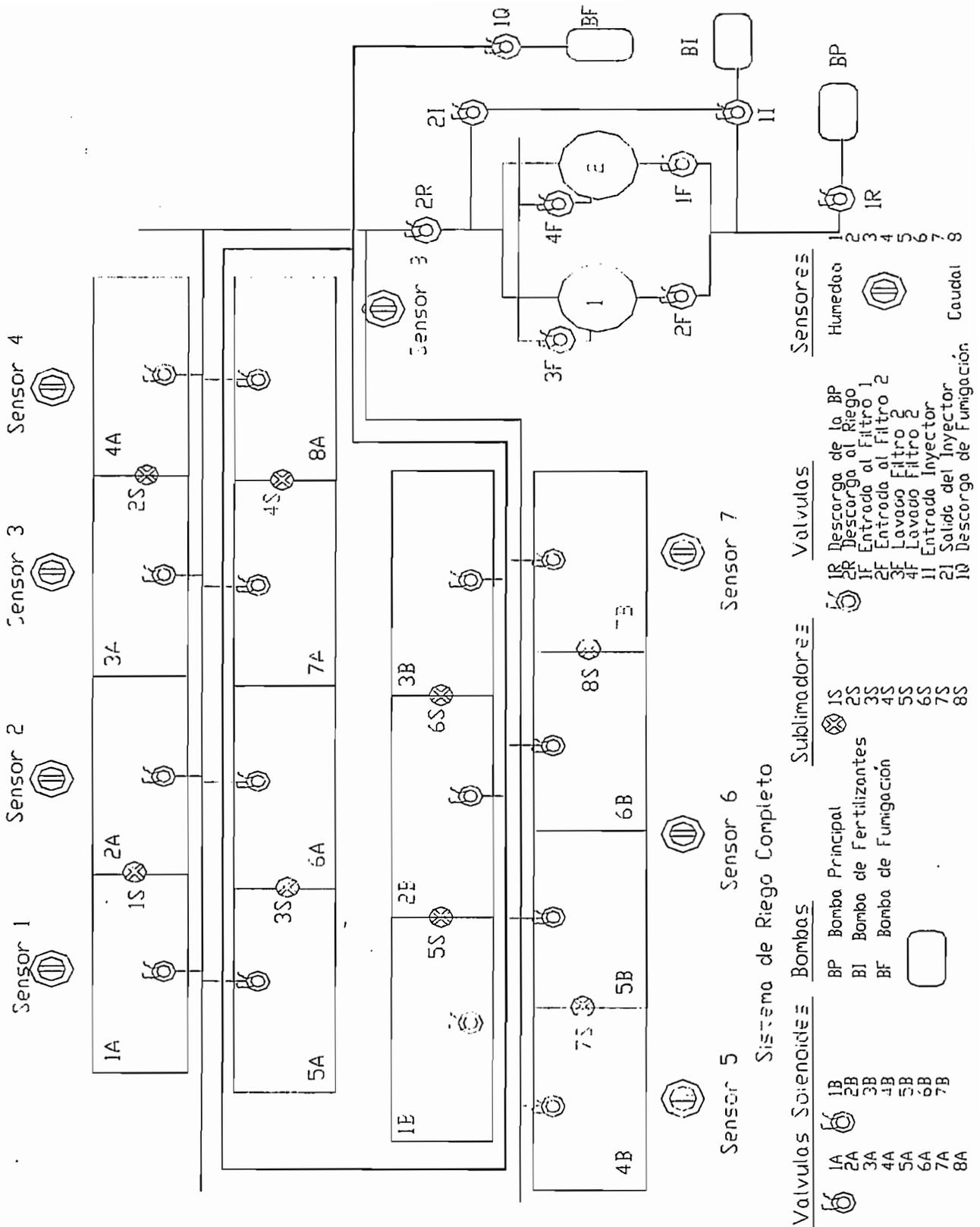


Figura 4.1.- Descripción de elementos a controlar

localizado para plantación de Flores. El diagrama de flujo general es como sigue:

Inicio

Presenta la Primera Pantalla, y en forma visual permite encender leds, escoger la función a realizar o finalizar el programa

Escoger Función a realizar

Permite escoger el tipo de función que se quiere realizar

Riego por Goteo

Se escoge entre dos tipos de riego, esto es por automatización por humedad, y por tiempos

Goteo por Humedad

Realiza las funciones de Goteo luego de haberse escogido los lotes a regar y termina su función cuando se ha llegado a la humedad requerida

Goteo por Tiempos

Realiza las funciones de Goteo luego de haberse escogido los lotes a regar y termina su función cuando se ha llegado al tiempo dado por el operador

Riego por Aspersión y/o Goteo

Se escoge entre el riego por aspersión exclusiva o el riego combinado de aspersión y goteo

Aspersión Exclusiva

Permite escoger entre aspersión exclusiva por humedad o por tiempos

Aspersión por Humedad

Realiza las funciones de Aspersión, y termina su función cuando se ha llegado a la humedad requerida

Aspersión por Tiempos

Realiza las funciones de Aspersión, y termina su función cuando se ha llegado a l tiempo dado por el operado

Aspersión y Goteo

Permite escoger entre aspersión y goteo por humedad o por tiempos

Goteo por Humedad

Realiza las funciones de Aspersión y Goteo, luego de escoger el bloque que se quiere hacer aspersión y los lotes a realizar el Goteo, y termina su función cuando se ha llegado a la humedad requerida

Goteo por Tiempos

Realiza las funciones de Aspersión y Goteo, luego de escoger el bloque que se quiere hacer aspersión y los lotes a realizar el Goteo, y termina su función cuando se ha llegado al tiempo dado por el operador

Fertirrigación

Permite escoger entre fertirrigación por humedad o por tiempos

Fertirrigación por Humedad

Realiza las funciones de Goteo inyectando fertilizantes, luego de escoger los lotes que se desea fertilizar, y cuando se ha llegado a la humedad requerida termina su función

Fertirrigación por Tiempos

Realiza las funciones de Goteo inyectando fertilizantes, luego de escoger los lotes que se desea fertilizar, y cuando se ha llegado al tiempo requerido termina su función

Retrolavado de Filtros

Aquí se escoge el tipo de retrolavado se necesita, sea el retrolavado por tiempos establecidos, o el retrolavado por tiempos dados por el operador

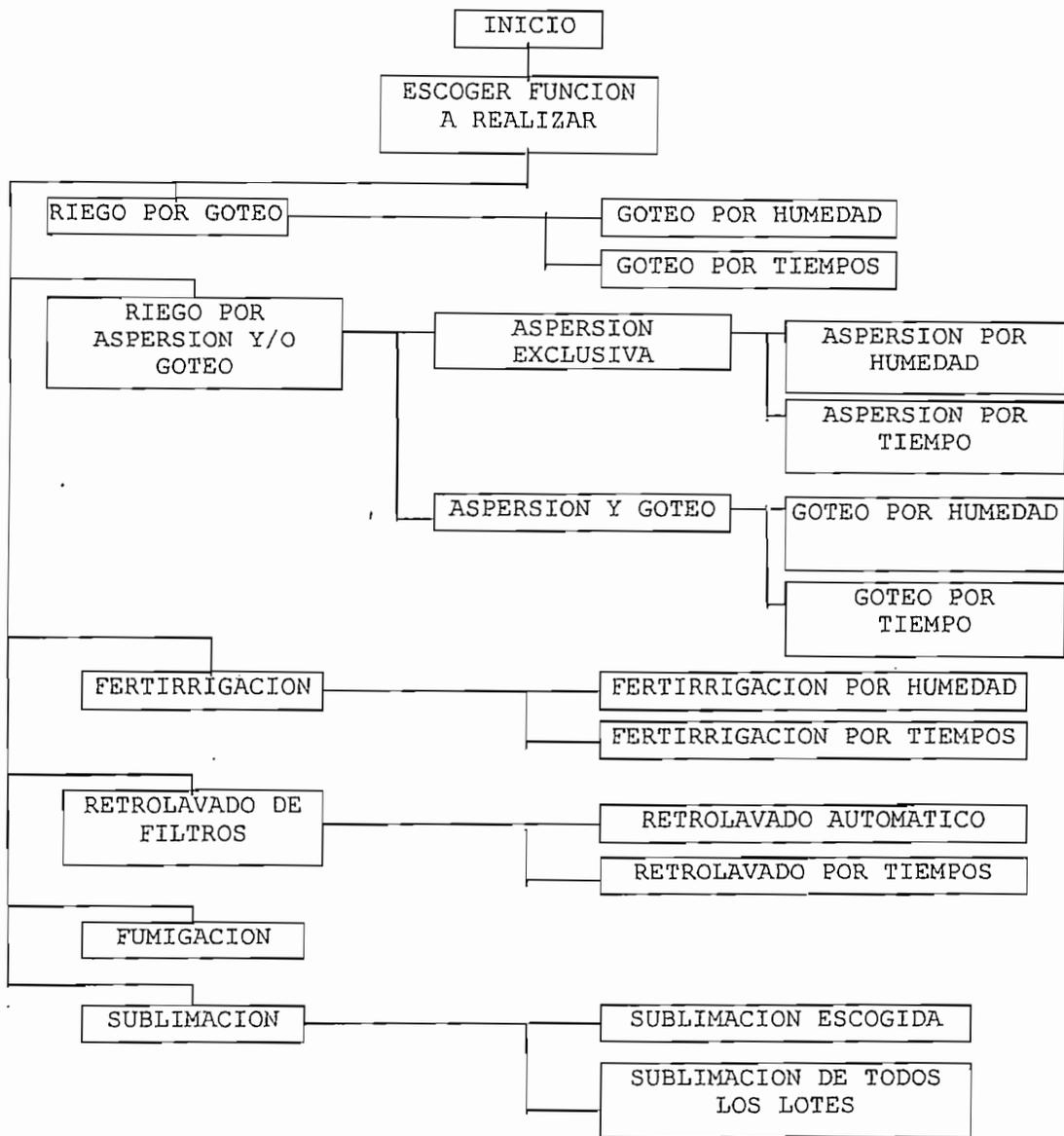


Diagrama de Flujo 1

Retrolavado Automático

Realiza las funciones de retrolavado de cada filtro, y termina su función cuando se ha llegado al tiempo dado por el programa

Retrolavado por Tiempos

Realiza las funciones de retrolavado de cada filtro, y termina su función cuando se ha llegado al tiempo dado por el operador

Fumigación

Realiza las funciones de fumigación, luego de escoger el tiempo que requiere para la función y la termina cuando se ha llegado al tiempo dado por el operador

Sublimación

Permite escoger entre que tipo de sublimación se requiere así, sublimación de todos los lotes, o por lotes escogidos

Las variables Dato1, Dato2, etc., almacenan la lectura de los sensores de humedad y del contador de caudal.

Así mismo, para el envío de una orden de encendido o apagado de una válvula, a través de los puertos digitales, se utilizan las direcciones de puertos 33A, 33B, 33C, 33D y la 33E, que con una capacidad de 8 bits por cada puerto, da la opción de controlar 35 elementos en el campo; así, cada puerto maneja los siguientes elementos:

Dirección 33A	Todos los sublimadores 1S, 2S, 3S, 4S, 5S, 6S, 7S, 8S
Dirección 33B	Todas las Válvulas del bloque A 1A, 2A, 3A, 4A, 5A, 6A, 7A, 8A
Dirección 33C	Todas las Válvulas del bloque B 1B, 2B, 3B, 4B, 5B, 6B, 7B
Dirección 33D	Válvula 2R, 1F, 2F, 4F, 1I, 2I, 1Q, 3F
Dirección 33E	Bomba Principal Bomba de Fertilizantes Bomba de Fumigación Válvula 1R

El control implica escribir el valor adecuado en cada dirección, por ejemplo, para activar la válvula 1A en la dirección 33B se escribe 00000001. Para prender otra válvula, por ejemplo la 5A, que corresponde a la palabra 00010000, y mantener la anterior válvula prendida se tendría que colocar un 00010001 esto es en hexadecimal 11 para mantener las dos válvulas funcionando. Para activar todas las salidas de una dirección se colocará a dicho puerto de salida FF en hexadecimal.

4.1 CONTROL DE ARRANQUE DE BOMBAS

Al iniciarse el programa, se abre una primera pantalla en la cual se ve gráficamente la disposición de los lotes en cada

bloque de riego, la estación de filtrado, los elementos de la inyección de fertilizantes, el sistema de fumigación y los elementos de sublimación. Esta pantalla se muestra en la Figura 4.2. A continuación se tiene que ingresar que función se desea realizar por medio de "ESCOJA LA FUNCION A REALIZAR":

- 1) Riego por Goteo
- 2) Riego por Aspersión y/o Goteo
- 3) Retrolavado de filtros
- 4) Fertirrigación
- 5) Fumigación
- 6) Encendido de Sublimadores

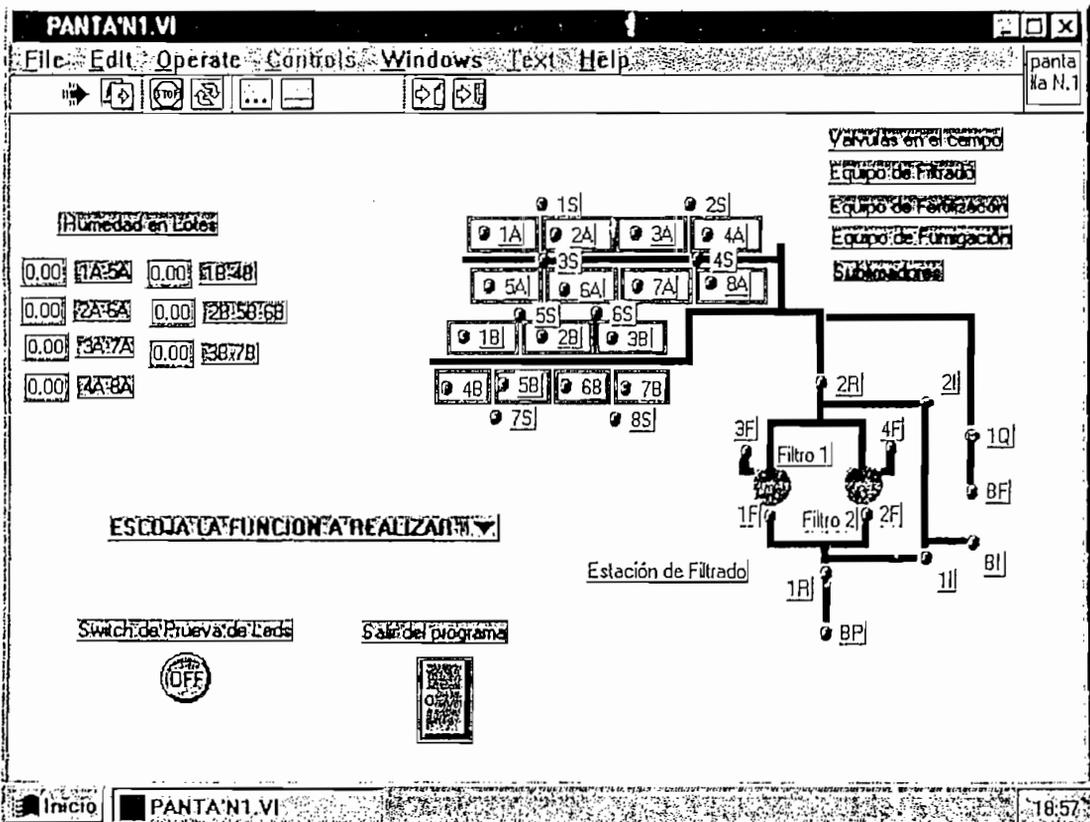


Figura 4.2.- Pantalla primera de ingreso al programa.

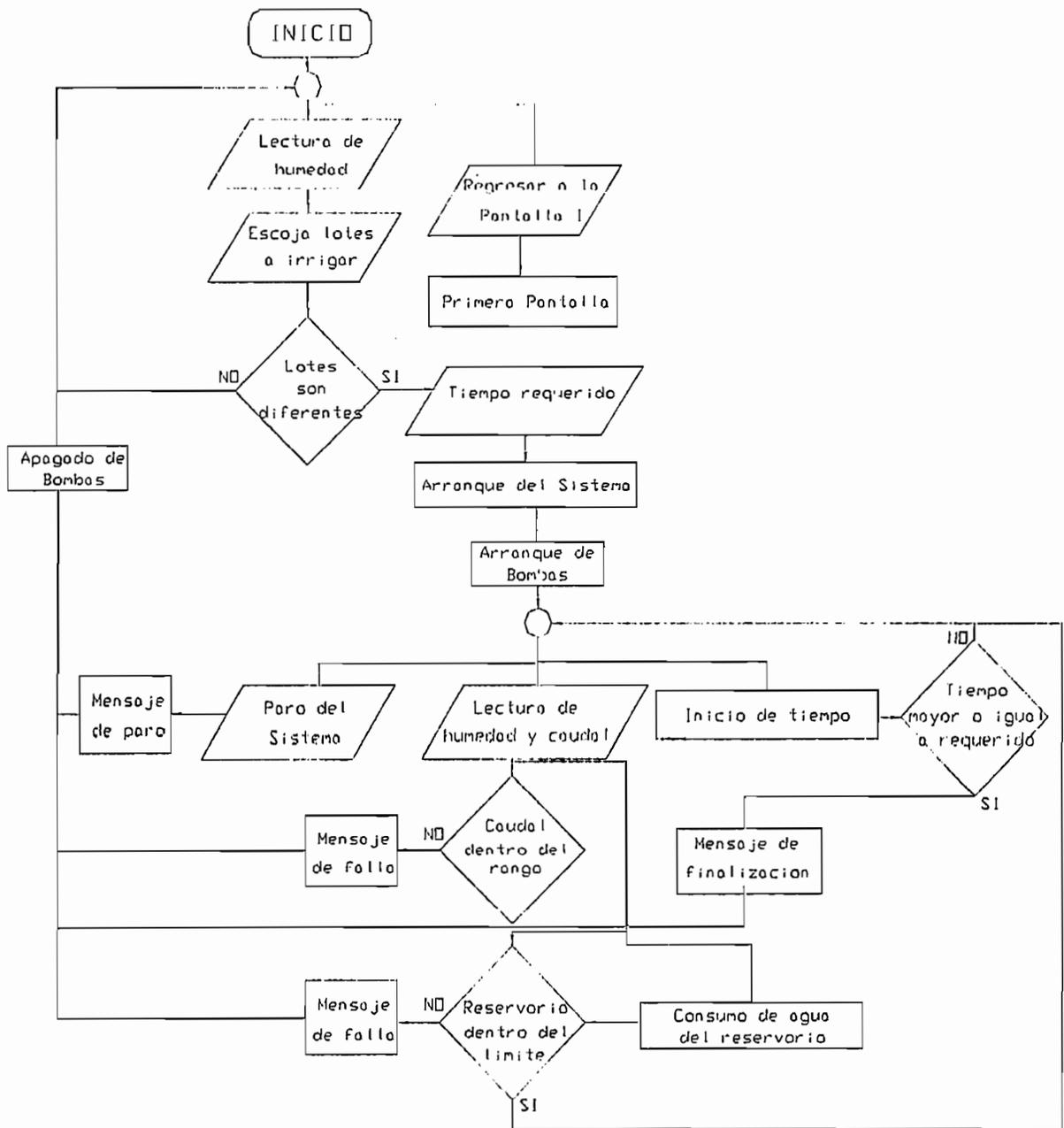


Diagrama de Flujo 2

Caudal dentro del rango

Si el caudal se encuentra entre los 50 y 190 GPM la función continúa
 Si el caudal no se encuentra entre el rango determinado, se imprime un mensaje de falla por caudal, se apaga la bomba encendida, y se vuelve al inicio de la función

Reservorio dentro del límite

Si el reservorio se encuentra con más de 600 m³ la función continúa
 Si el reservorio no tiene más de 600 m³ la función termina, se imprime un mensaje de falla por falta de agua, se apaga la bomba principal y se regresa al inicio de la función

Inicio del tiempo

Se inicializa el reloj para tomar el tiempo transcurrido

Tiempo mayor o igual a requerido

Si el tiempo no es mayor al requerido, la función continúa

Si el tiempo es mayor al requerido, se imprime un mensaje de que termino la función normalmente, se apaga la bomba principal, y se regresa al inicio de la función

Paro del Sistema

Si se presiona el control de paro, se imprime un mensaje de paro por el operador, se apaga la bomba principal, y se regresa al inicio de la función

Apagado de bombas

Se da la orden para que en el prototipo se apague el led que representa a la bomba principal, y se envía un voltaje de cero al relé que comanda al contactor de la bomba

Regresar a la Pantalla 1

Si se desea, al inicio de la función se puede regresar a la primera pantalla para escoger otra función o para acabar con el programa

Para el caso de Goteo por tiempos dados desde el computador, se ingresa a la pantalla de la Figura 4.3.

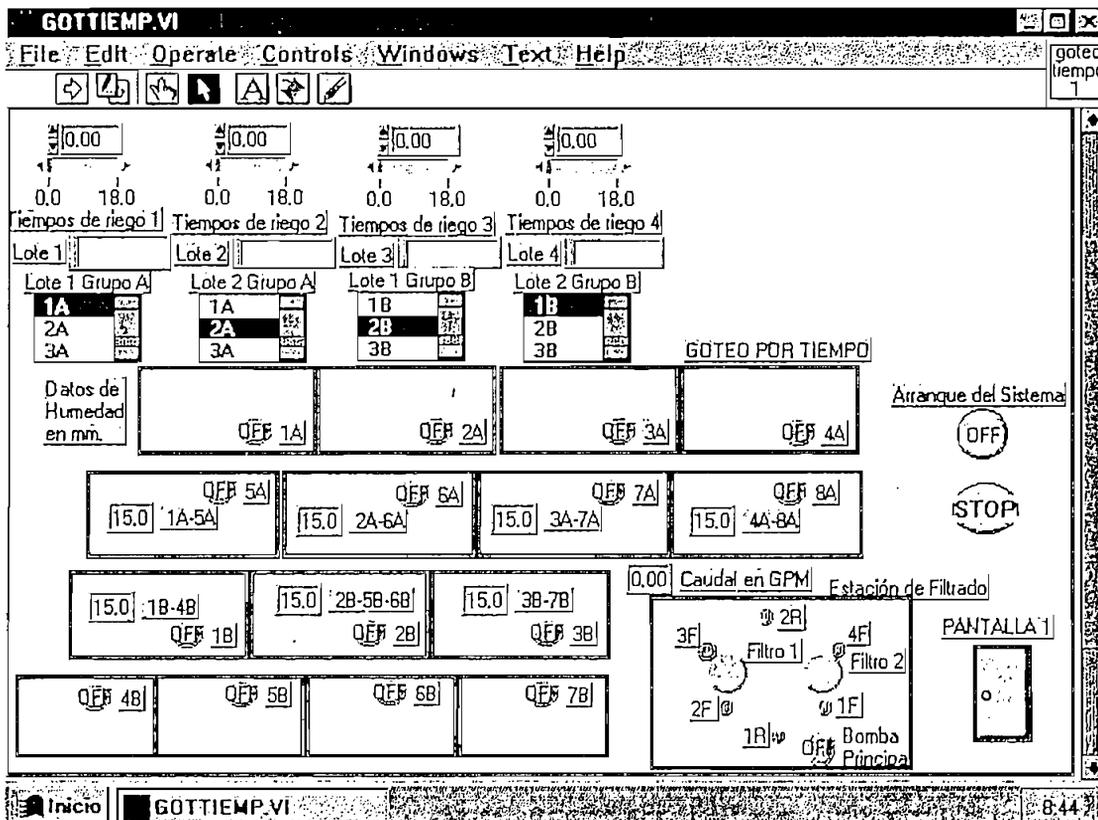


Figura 4.3.- Pantalla de Goteo por tiempos dados al computador.

Se muestran los lotes de la plantación con su identificación respectiva, cuadros de selección de los lotes a funcionar, las válvulas de riego, el indicador de caudal, la

estación de bombeo con sus diferentes válvulas representadas por leds en la pantalla del computador, controles de tiempo de riego, indicador de tiempo de funcionamiento, botón de encendido del sistema, elemento de pare de emergencia, botón de regreso a la primera pantalla e indicador de consumo de agua.

Goteo por Humedad

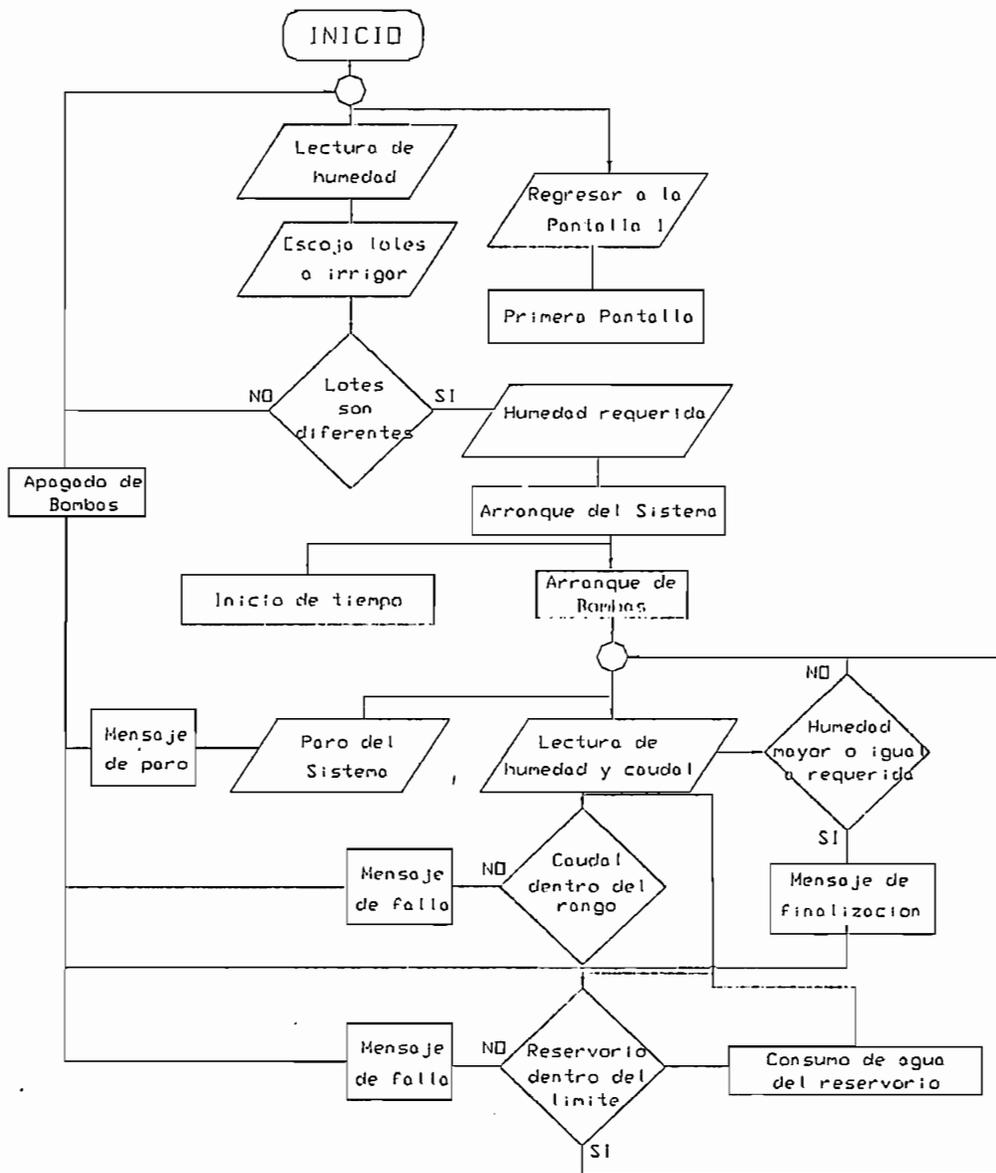


Diagrama de Flujo 3

El Diagrama de Flujo 3 muestra el algoritmo con el cual se arranca y apaga la bomba principal durante el goteo por humedad.

La estructura de las tareas del algoritmo se describen brevemente a continuación en lenguaje estructurado.

Lectura de humedad

Con la ayuda del prototipo se leen los datos de humedad en el campo

Escoger lotes a irrigar

Se permite escoger dos lotes distintos de cada bloque

Lotes son diferentes

Si los lotes son los mismos se acaba la función y se regresa al inicio

Si los lotes son diferentes se continua con la función

Humedad requerido

Se incrementa desde cero hasta el valor deseado la humedad que se quiere dar al terreno

Si la humedad requerida es mayor a cero se hacen visibles el control de arranque y paro del sistema

Arranque del Sistema

Se presiona el control de arranque, si se desea realizar la función

Arranque de Bombas

Se da la orden para que se encienda el led que representa el funcionamiento de la bomba principal, y con esta orden se entrega un voltaje para el encendido del relé que activará el contactor de la bomba principal

Lectura de humedad y caudal

Se leen los datos de humedad de los siete sensores y también el dato del contador de caudal

Caudal dentro del rango

Si el caudal se encuentra entre los 50 y 190 GPM la función continúa

Si el caudal no se encuentra entre el rango determinado, se imprime un mensaje de falla por caudal, se apaga la bomba encendida, y se vuelve al inicio de la función

Reservorio dentro del límite

Si el reservorio se encuentra con más de 600 m³ la función continua

Si el reservorio no tiene más de 600 m³ la función termina, se imprime un mensaje de falla por falta de agua, se apaga la bomba principal y se regresa al inicio de la función

Inicio del tiempo

Se inicializa el reloj para tomar el tiempo transcurrido aunque este no interviene en la función

Humedad mayor o igual a requerida

Si la humedad no es mayor a la requerida, la función continua

Si la humedad es mayor a la requerida, se imprime un mensaje de que termino la función normalmente, se apaga la bomba principal, y se regresa al inicio de la función

Paro del Sistema

Si se presiona el control de paro, se imprime un mensaje de paro por el operador, se apaga la bomba principal, y se regresa al inicio de la función

Apagado de bombas

Se da la orden para que en el prototipo se apague el led que representa a la bomba principal, y se envía un voltaje de cero al relé que comanda al contactor de la bomba

Regresar a la Pantalla 1

Si se desea, al inicio de la función se puede regresar a la primera pantalla para escoger otra función o para acabar con el programa

Para el caso del Goteo automatizado por humedad, se tiene la pantalla que se ve en la Figura 4.4.

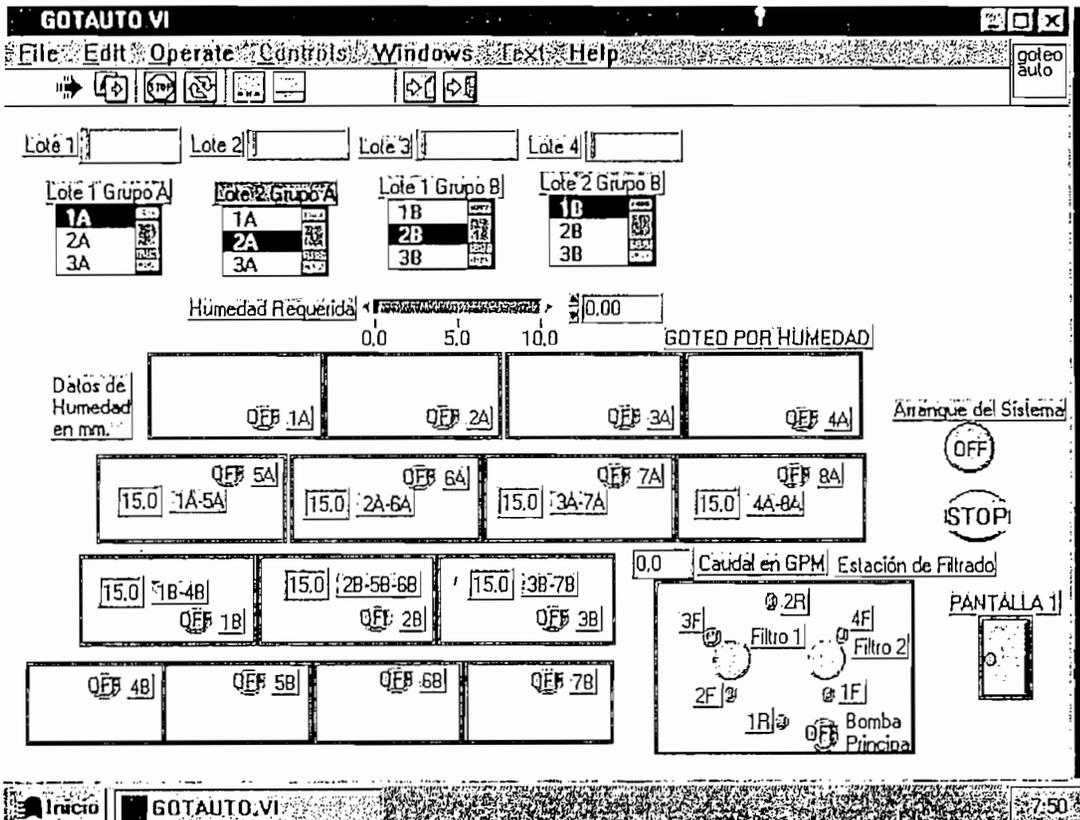


Figura 4.4.- Pantalla de Goteo automatizado.

La pantalla es similar a la de goteo por tiempos con la diferencia que en ésta no se encuentran los controles de tiempo de riego; en vez de ellos se encuentra el selector de humedad requerida que viene representada por una barra de aumento de valor. El control finalizará cuando los sensores de humedad regresen la información de que ésta ha llegado a las condiciones de humedad requeridas.

Aspersión exclusiva por tiempos

El Diagrama de Flujo 2 muestra el algoritmo con el cual se arranca y apaga la bomba principal durante la aspersión exclusiva por tiempos. La estructura de las tareas del algoritmo es similar a la del arranque de bomba para el goteo por tiempo.

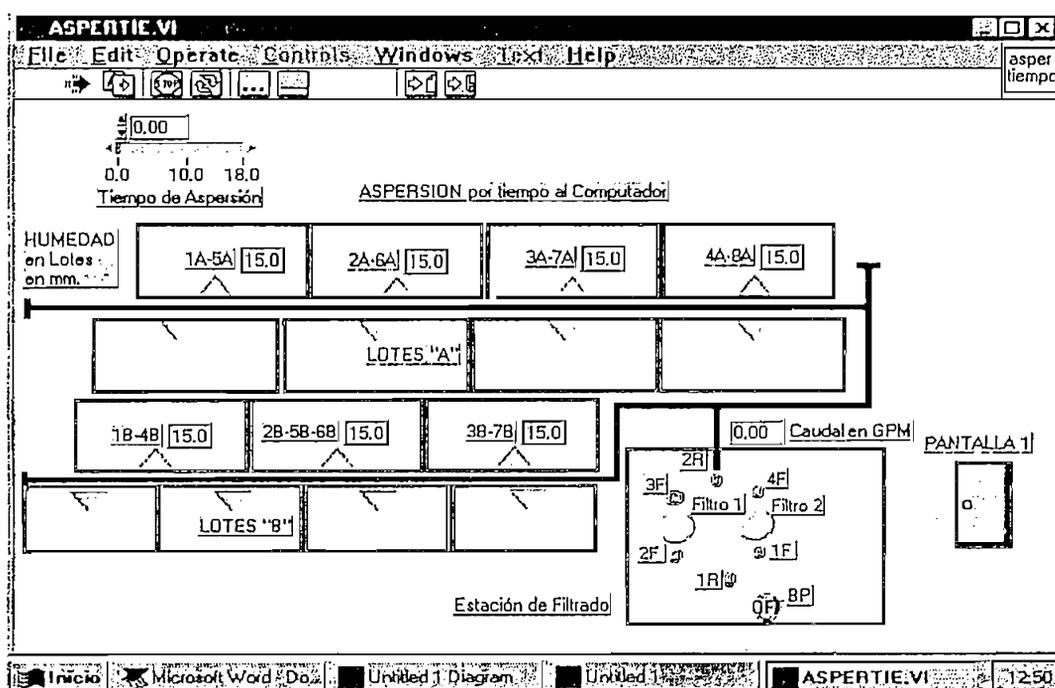


Figura 4.5.- Pantalla de Aspersión por tiempos.

La pantalla de aspersión exclusiva por tiempos dados desde el computador se la puede ver en la Figura 4.5. En ella se encuentran la disposición de los diferentes lotes de cada bloque, con identificación, indicador de caudal, leds que simulan las electro-válvulas, la estación de bombeo, control de tiempo de riego, control de arranque del sistema, pare de emergencia, regreso a la pantalla primera, y el simulador de consumo de agua.

Aspersión exclusiva por humedad

El Diagrama de Flujo 3 muestra el algoritmo con el cual se arranca y apaga la bomba principal durante la aspersión exclusiva por humedad. La estructura de las tareas del algoritmo es similar a la del arranque de bomba para el goteo; esto se debe a que en este caso también se tiene que cumplir con llegar a la humedad requerida por el usuario para finalizar la función. También se tienen las mismas funciones en el caso de falla del sistema tanto por caudal como por falta de agua.

Esta parte del programa se representa en la pantalla que se puede ver en la Figura 4.6. Es muy similar a la pantalla anterior, con la diferencia de que en ésta no se encuentra el control de tiempo de riego encontrándose, en su reemplazo, el control indicador de cantidad de humedad requerida por el sistema que se va a regar.

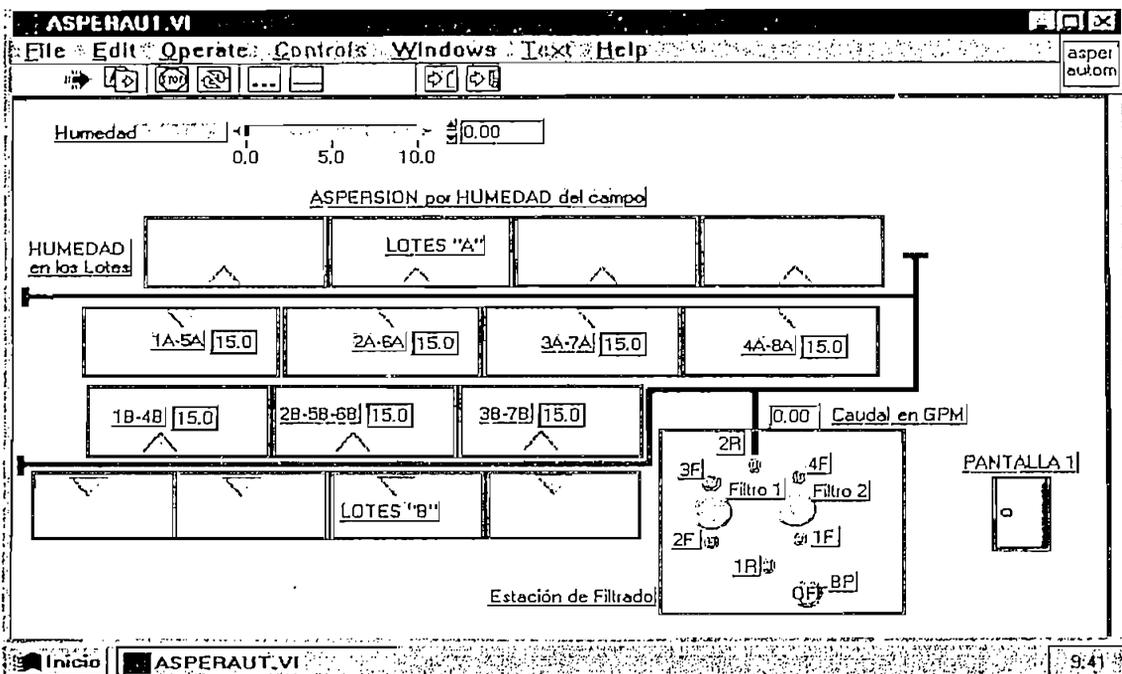


Figura 4.6.- Pantalla de Aspersión automatizada

Aspersión y Goteo simultáneos por Tiempo

El Diagrama de Flujo 2 muestra el algoritmo con el cual se arranca y apaga la bomba principal durante la aspersión y goteo simultáneos por tiempo. La estructura de las tareas del algoritmo es similar a la del arranque de bomba para el goteo, con la diferencia que en este caso al escoger los lotes a irrigar, escoge primero el bloque en el que se va a hacer la aspersión, para luego escoger los lotes en los que se desea realizar el goteo, y si estos son diferentes, se continúa la función caso contrario se regresa a escoger los lotes.

La pantalla de aspersión y goteo simultáneos por tiempo ingresado al computador se la puede observar en la Figura 4.7.

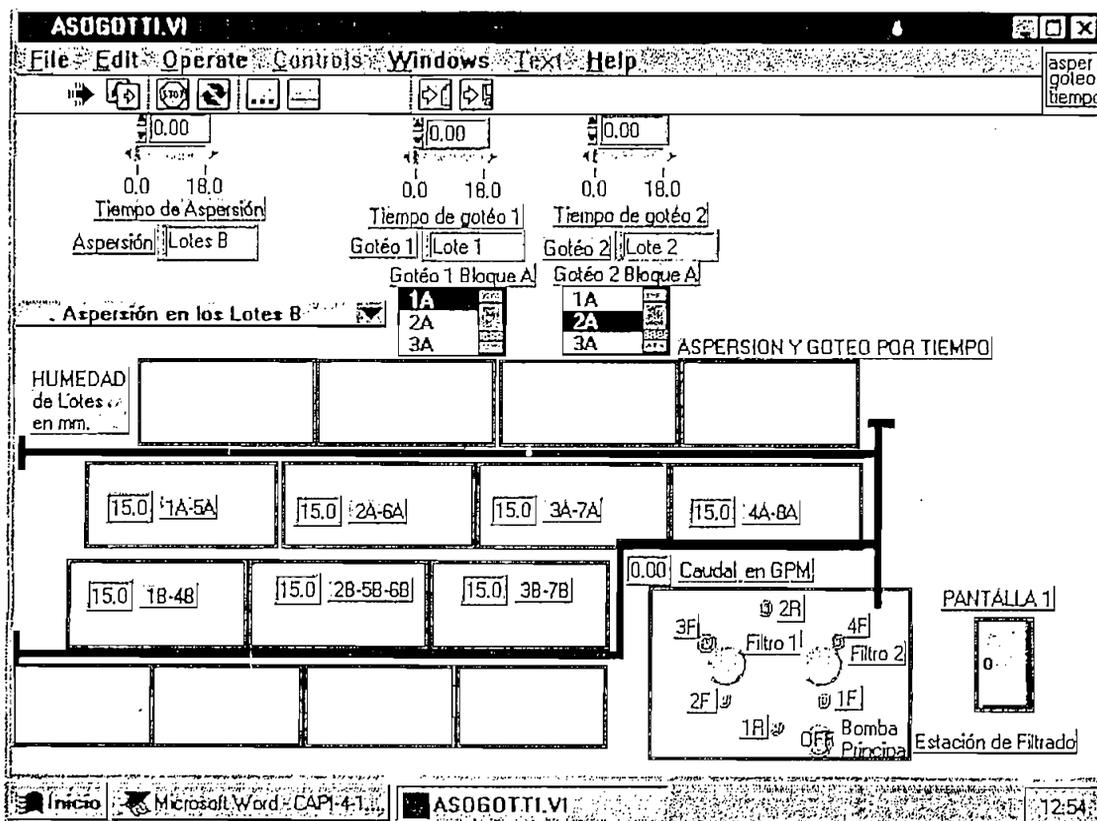


Figura 4.7.- Pantalla de Aspersión y Goteo por tiempo.

Aquí se da la opción de escoger si se quiere hacer aspersión en el Bloque A o en el Bloque B. Dependiendo de qué se escoja, se deben exponer los lotes ya sea del Bloque A o del Bloque B para escoger dos en los que se realizará goteo. Hay tres controladores de tiempo de riego, uno para la aspersión de uno de los bloques y los otros dos para el tiempo de goteo. Al igual que en las pantallas anteriores, visualmente se pueden localizar los lotes de la plantación, la estación de bombeo, control de arranque de función, pare de emergencia y, antes del funcionamiento, se da la opción de regresar a la primera pantalla, y al simulador de consumo de agua.

Aspersión y Goteo simultáneos por Humedad

El Diagrama de Flujo 3 muestra el algoritmo con el cual se arranca y apaga la bomba principal durante la aspersión y goteo simultáneos por humedad. La estructura de las tareas del algoritmo es similar a la del arranque de bomba para el goteo; en este caso, se escoge primero el bloque en el que se va a hacer la aspersión, para luego escoger los lotes en los que se desea realizar el goteo.

Esta función tiene como ayuda la pantalla de la Figura 4.8, es muy similar a la de aspersión y goteo simultáneos por tiempo, pero en ésta se reemplazan los tiempos de riego por requerimientos de humedad a través de un control de barra de

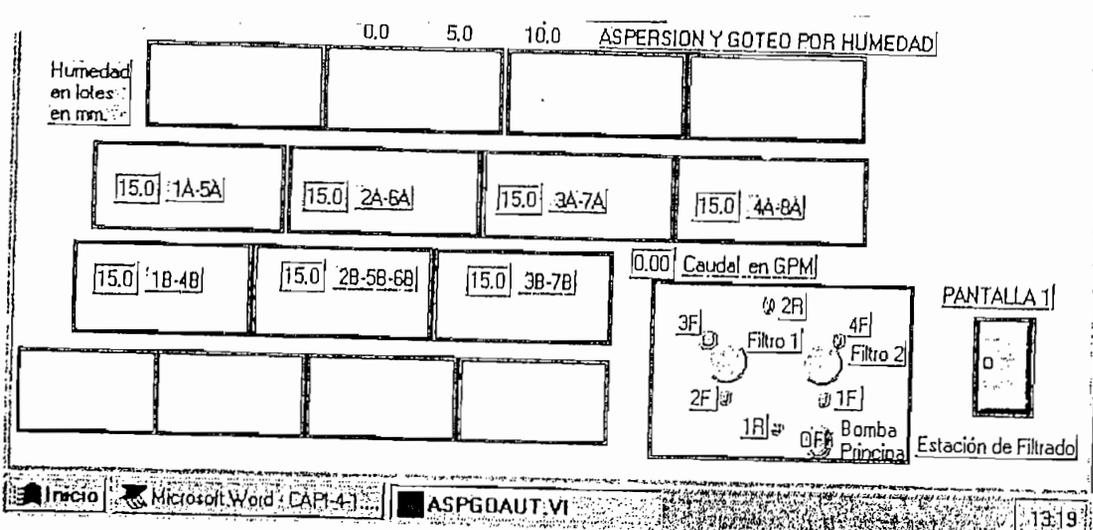


Figura 4.8.- Pantalla de Aspersión y Goteo por humedad

cantidad. La función finalizará cuando el dato de humedad sea igual o mayor al requerido por el operador.

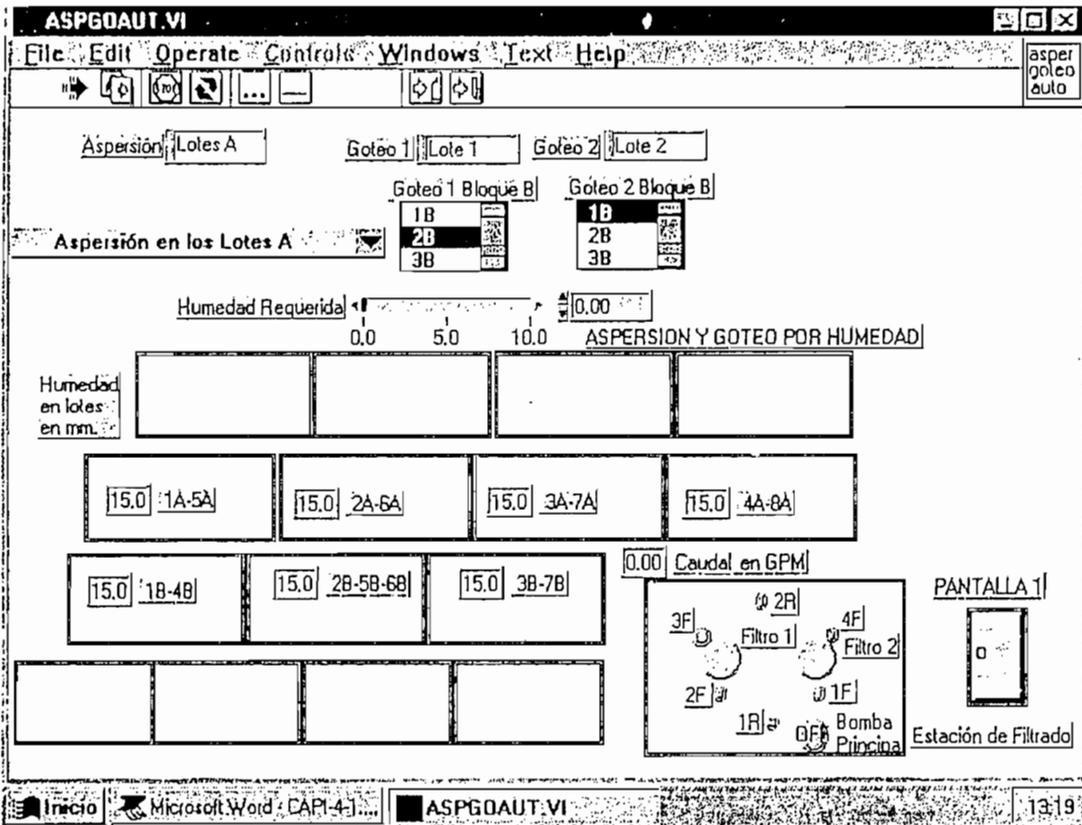


Figura 4.8.- Pantalla de Aspersión y Goteo por humedad

Retrolavado de Filtros

En esta función se permite escoger el tipo de retrolavado de filtros, así se puede hacer por tiempos preestablecidos (en el programa), o por tiempos dados por el usuario. La pantalla con la cual se opera esta función, se encuentra en la Figura 4.9. En ella se muestra el sistema de filtración, el control para escoger la función a realizar, el regreso a la primera pantalla y, una vez escogido el tipo de retrolavado a realizar, se procede hacia su respectiva función.

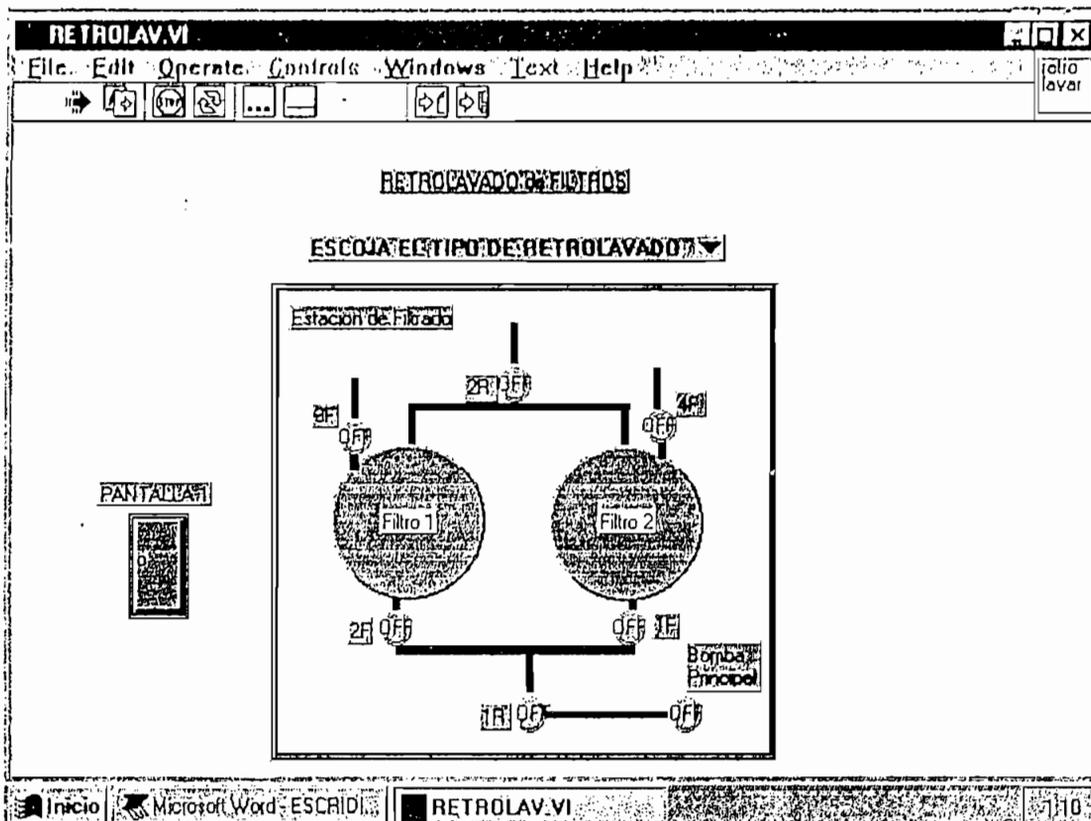


Figura 4.9.- Pantalla del retrolavado de filtros

Retrolavado de Filtros por Tiempos

Para el arranque de la bomba principal en esta función, se tiene el diagrama de flujo 4, en el cual se encuentra las tareas a realizar. A continuación se las detalla brevemente:

Tiempo requerido

Se incrementa desde cero hasta el valor deseado de tiempo de retrolavado de filtros
 Si el tiempo es mayor a cero se hacen visibles el control de arranque y paro del sistema

Arranque del Sistema

Se presiona el control de arranque, si se desea realizar la función

Arranque de Bombas

Se da la orden para que se encienda el led que representa el funcionamiento de la bomba principal, y con esta orden se entrega un voltaje para el encendido del relé que activará el contactor de la bomba principal

Inicio del tiempo

Se inicializa el reloj para tomar el tiempo transcurrido

Tiempo mayor o igual a requerido

Si el tiempo no es mayor al requerido, la función continua

Si el tiempo es mayor al requerido, se imprime un mensaje de que termino la función normalmente, se apaga la bomba principal, y se regresa al inicio de la función

Paro del Sistema

Si se presiona el control de paro, se imprime un mensaje de paro por el operador, se apaga la bomba principal, y se regresa al inicio de la función

Apagado de bombas

Se da la orden para que en el prototipo se apague el led que representa a la bomba principal, y se envía un voltaje de cero al relé que comanda al contactor de la bomba

Regresar a la Pantalla 1

Si se desea, al inicio de la función se puede regresar a la primera pantalla para escoger otra función o para acabar con el programa

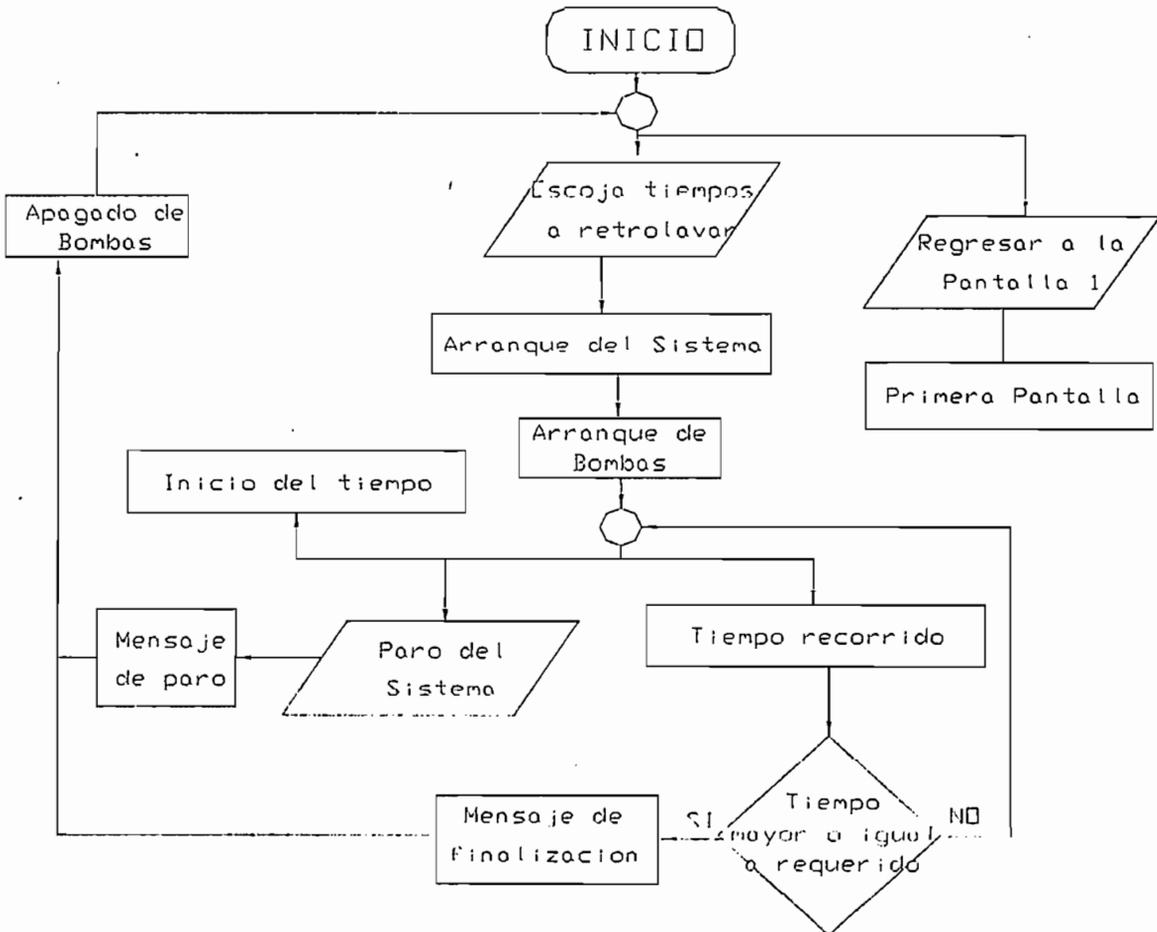


Diagrama de Flujo 4

La pantalla que comanda el retrolavado de filtros por tiempo se lo encuentra en la Figura 4.10.

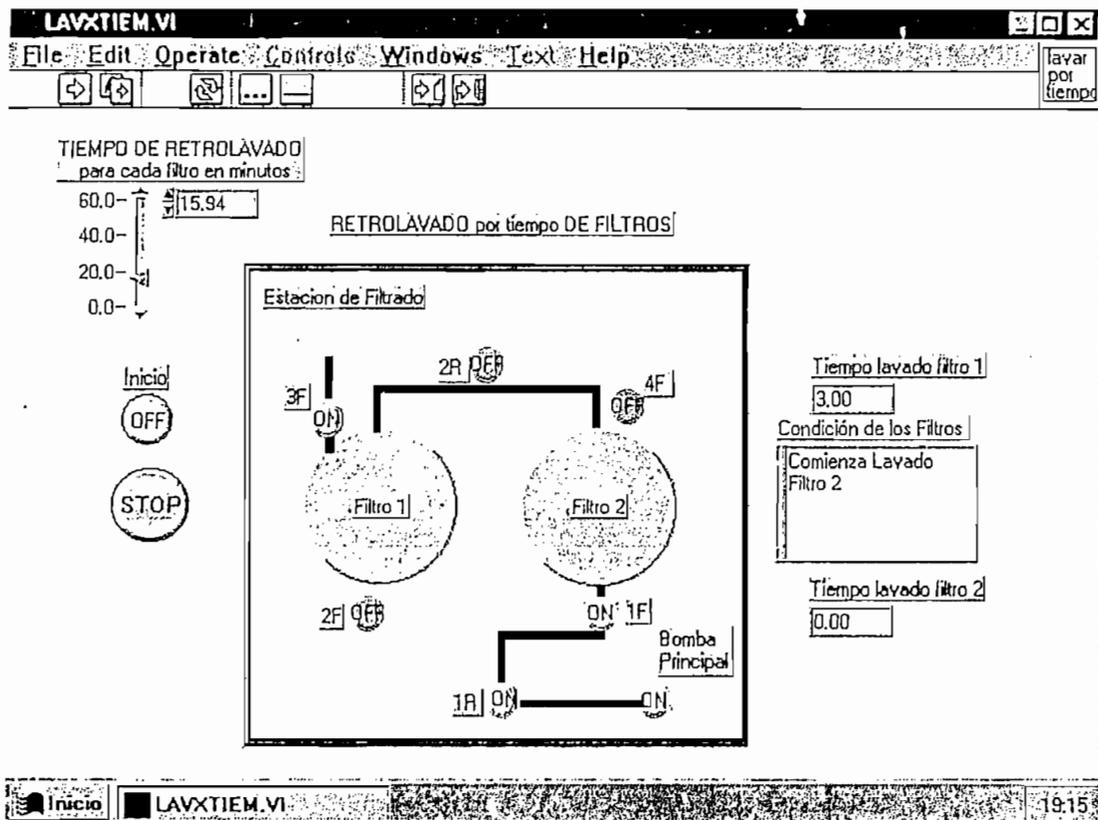


Figura 4.10.- Pantalla de lavado de filtros por tiempo.

Aquí se encuentra el esquema de los filtros con sus respectivas conexiones, el control de tiempo de retrolavado, el control de inicio de la función, el control de paro de emergencia, y el control de regresar a la primera pantalla, el cual se hace invisible cuando se inicia la función.

Retrolavado de Filtros por tiempos establecidos

El diagrama de flujo 4 también muestra el algoritmo por medio del cual se arranca la bomba principal durante esta

función. Sus tareas son similares a las anteriores, con la diferencia de que en esta no se necesita ingresar tiempos al computador pues estos vienen ya establecidos, de acuerdo a los datos técnicos del agrónomo.

La pantalla de la Figura 4.11 muestra el retrolavado por tiempos establecidos, que es similar a la anterior, pero en esta no se encuentra el control de tiempo.

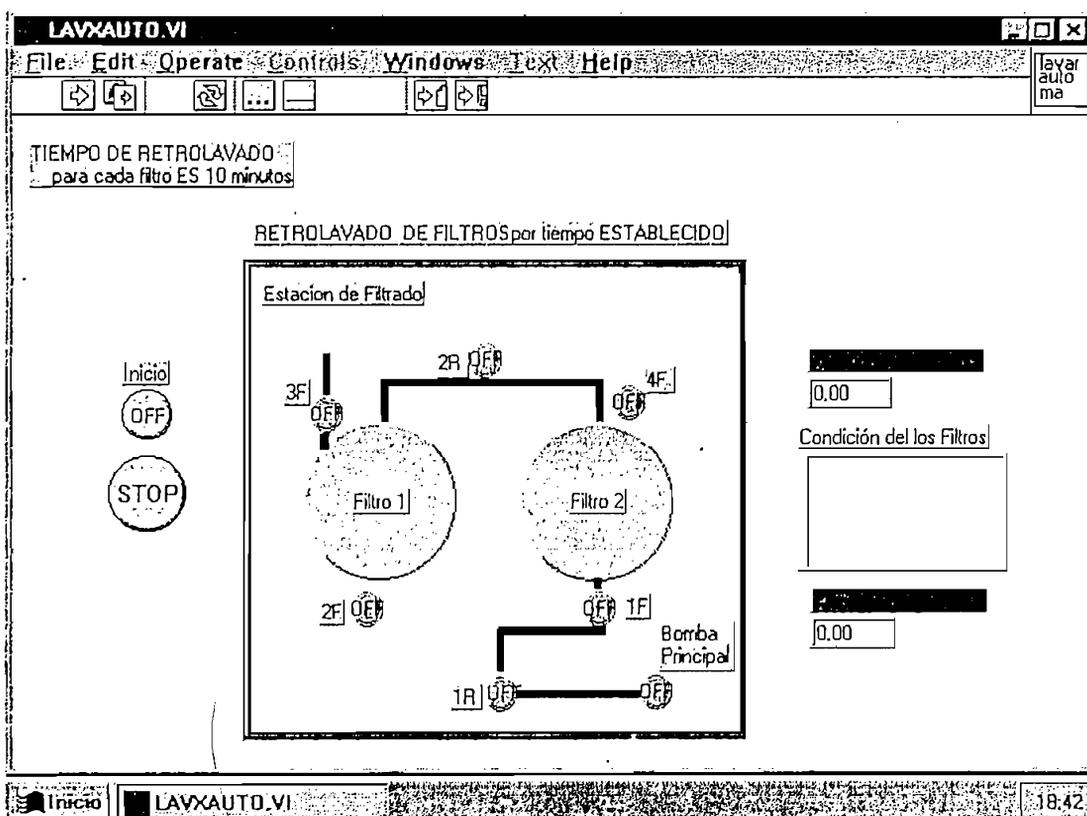


Figura 4.11.- Pantalla de lavado de filtros automático

Fertirrigación por Tiempo

El diagrama de flujo 2 contiene el algoritmo que gobierna el arranque de la bomba principal y de la bomba de fertilizantes durante esta función, sus tareas son muy similares a la del

goteo por tiempo con la diferencia de que aquí se arranca también la bomba de fertilizantes.

En la Figura 4.12, se encuentra la pantalla de esta función.

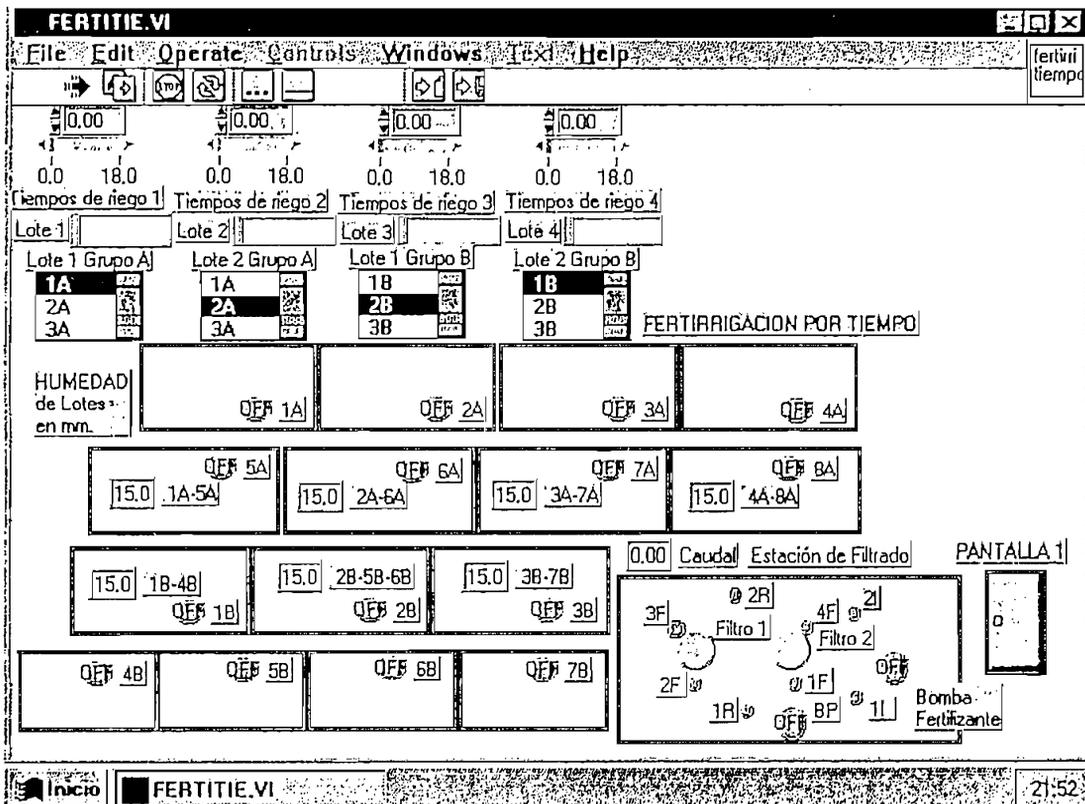


Figura 4.12.- Pantalla de Fertirrigación por tiempos

Aquí se encuentran igualmente los esquemas de la plantación, con identificación de lote, indicador de humedad, leds que representan las válvulas, opción para escoger qué lotes se desean fertirrigar, el control de encendido de los procesos, el paro de emergencia, el regreso a la pantalla primera, y el simulador de consumo de agua el cual se hace visible cuando la función se ha iniciado.

Fertirrigación por humedad

La pantalla que gobierna esta función se la encuentra en la Figura 4.13.

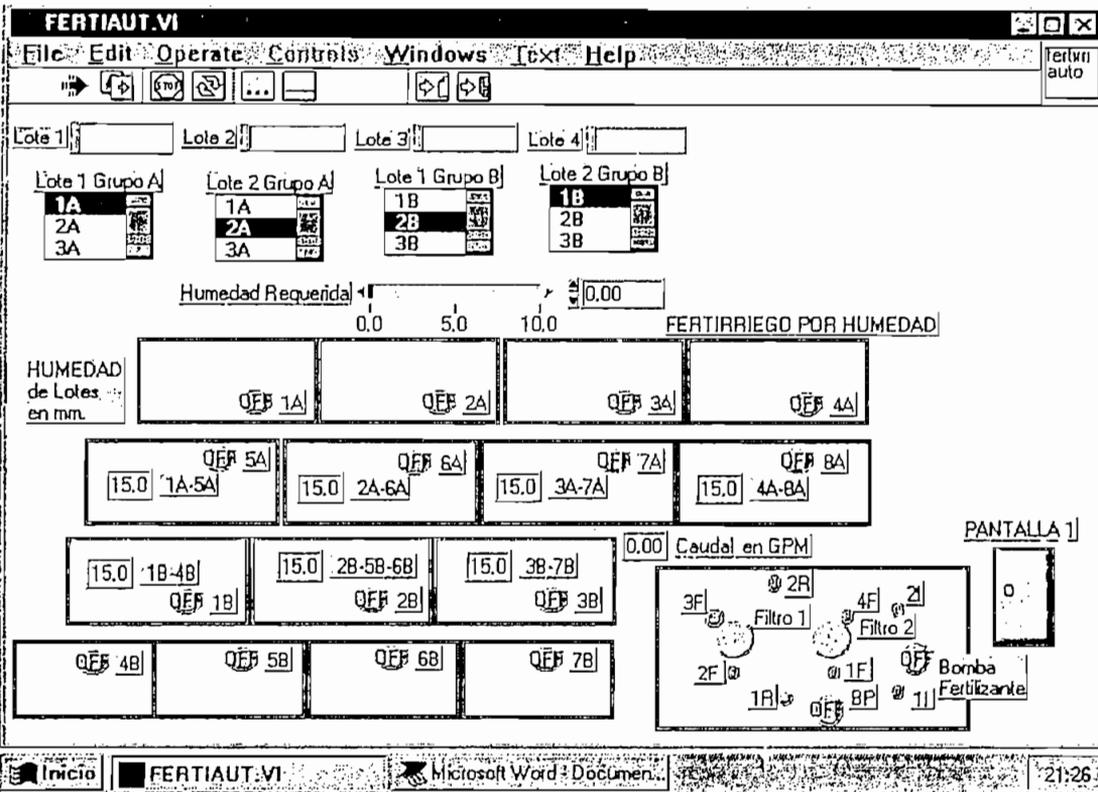


Figura 4.13.- Pantalla de Fertirrigación por automatización

Aquí se aumenta el equipo de fertilización que son la bomba de fertilizantes, y las dos electro-válvulas de inyección, el resto de controles son semejantes a los de goteo.

El diagrama de flujo 3 contiene el algoritmo que controla el arranque de la bomba principal y la inyectora de fertilizantes durante esta función, sus tareas son similares a la del goteo por humedad, con la diferencia de que aquí se tiene que arrancar también la bomba de fertilizante.

Fumigación

El diagrama de flujo 5 tiene la siguientes tares:

Tiempo requerido

Se incrementa desde cero hasta el valor deseado de tiempo de fumigación
Si el tiempo es mayor a cero se hacen visibles el control de arranque y paro del sistema

Arranque del Sistema

Se presiona el control de arranque, si se desea realizar la función

Arranque de Bomba

Se da la orden para que se encienda el led que representa el funcionamiento de la bomba de fumigación, y con esta orden se entrega un voltaje para el encendido del relé que activará el contactor de dicha bomba

Inicio del tiempo

Se inicializa el reloj para tomar el tiempo transcurrido

Tiempo mayor o igual a requerido

Si el tiempo no es mayor al requerido, la función continua
Si el tiempo es mayor al requerido, se imprime un mensaje de que termino la función normalmente, se apaga la bomba de fumigación, y se regresa al inicio de la función

Paro del Sistema

Si se presiona el control de paro, se imprime un mensaje de paro por el operador, se apaga la bomba de fumigación, y se regresa al inicio de la función

Apagado de bomba

Se da la orden para que en el prototipo se apague el led que representa a la bomba de fumigación, y se envía un voltaje de cero al relé que comanda al contactor de la bomba

Regresar a la Pantalla 1

Si se desea, al inicio de la función se puede regresar a la primera pantalla para escoger otra función o para acabar con el programa

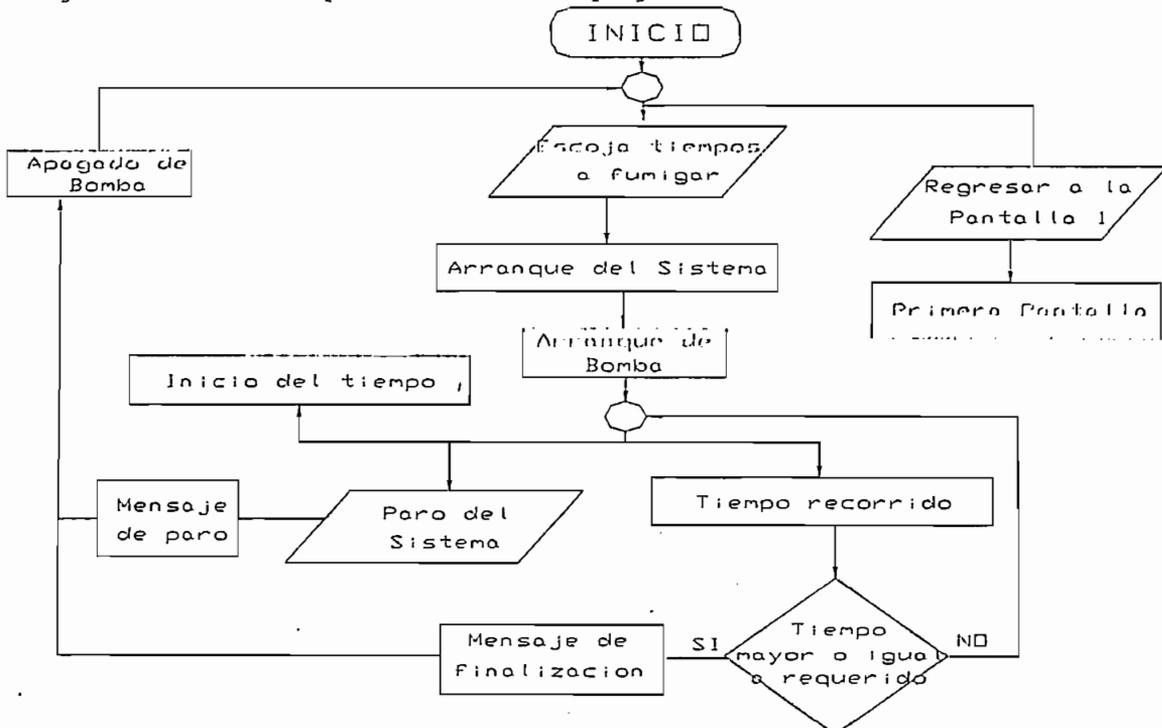


Diagrama de Flujo 5

La Figura 4.14 muestra la pantalla de la fumigación.

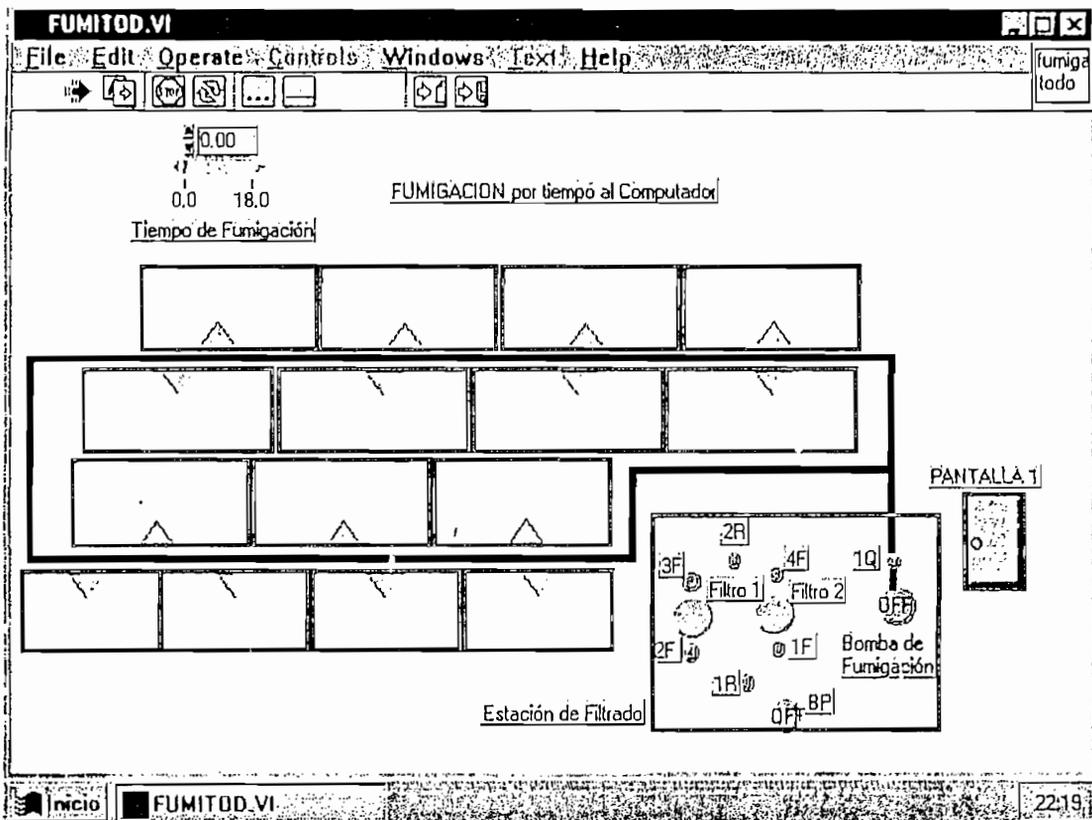


Figura 4.14.- Pantalla de Fumigación

Aquí se presenta el gráfico de los bloques A y B con sus respectivos lotes, el sistema de alimentación de la fumigación, el sistema de bombeo de fumigantes, el led que simula la válvula que comunica entre la bomba y el sistema de fumigación, se presenta también el control de tiempo de fumigación, al igual que el control de encendido del sistema, el paro de emergencia, y el regresar a la primera pantalla.

4.2 CONTROL DE APERTURA Y CIERRE DE VÁLVULAS

En esta sección se verá como el software ejecuta y controla la función de encendido y apagado de válvulas.

Goteo por tiempos

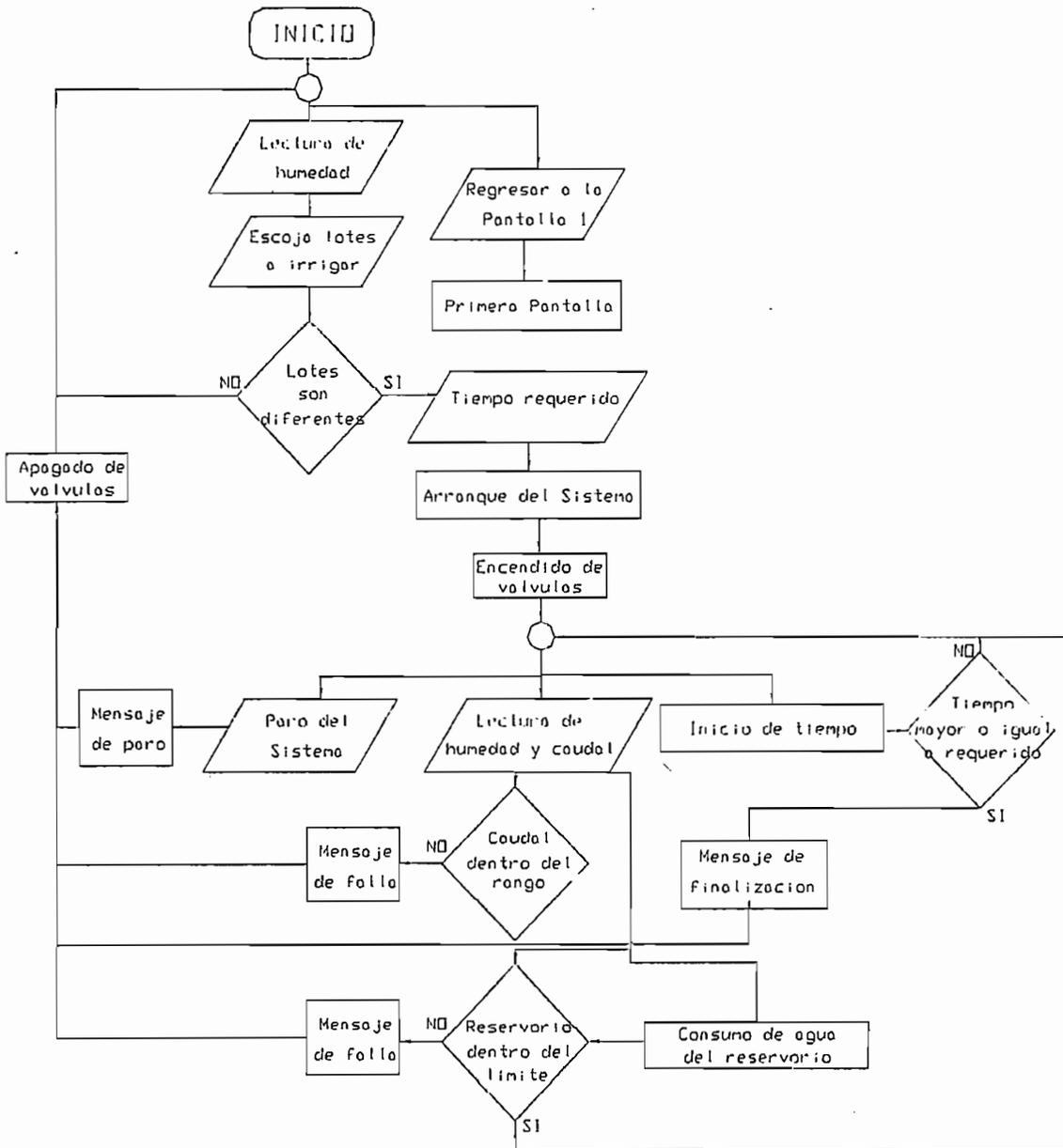


Diagrama de Flujo 5

El Diagrama de Flujo 5 muestra el algoritmo con el cual se encienden y apagan las válvulas de filtrado y las de los lotes escogidos durante el goteo por tiempo. Aquí se puede detectar anomalías durante el proceso. La estructura de las tareas del algoritmo se describen brevemente a continuación en lenguaje estructurado.

Lectura de humedad

Con la ayuda del prototipo se leen los datos de humedad en el campo

Escoger lotes a irrigar

Se permite escoger dos lotes distintos de cada bloque

Lotes son diferentes

Si los lotes son los mismos se acaba la función y se regresa al inicio

Si los lotes son diferentes se continua con la función

Tiempo requerido

Se incrementa desde cero hasta el valor deseado de tiempo de funcionamiento de riego

Si el tiempo es mayor a cero se hacen visibles el control de arranque y paro del sistema

Arranque del Sistema

Se presiona el control de arranque, si se desea realizar la función

Encendido de Válvulas

Se da la orden para que se encienda el led que representa el funcionamiento de las válvulas de filtrado en los lotes escogidos, y con esta orden se entrega un voltaje para el encendido de los relés que activarán dichas válvulas

Lectura de humedad y caudal

Se leen los datos de humedad de los siete sensores y también el dato del contador de caudal

Caudal dentro del rango

Si el caudal se encuentra entre los 50 y 190 GPM la función continúa

Si el caudal no se encuentra entre el rango determinado, se imprime un mensaje de falla por caudal, se apagan las válvulas, y se vuelve al inicio de la función

Reservorio dentro del límite

Si el reservorio se encuentra con más de 600 m³ la función continua

Si el reservorio no tiene más de 600 m³ la función termina, se imprime un mensaje de falla por falta de agua, se apagan las válvulas y se regresa al inicio de la función

Inicio del tiempo

Se inicializa el reloj para tomar el tiempo transcurrido

Tiempo mayor o igual a requerido

Si el tiempo no es mayor al requerido, la función continua

Si el tiempo es mayor al requerido, se imprime un mensaje de que termino la función normalmente, se apagan las válvulas encendidas, y se regresa al inicio de la función

Paro del Sistema

Si se presiona el control de paro, se imprime un mensaje de paro por el operador, se apagan las válvulas, y se regresa al inicio de la función

Apagado de válvulas

Se da la orden para que en el prototipo se apaguen los leds que representan a las válvulas solenoides, y se envía un voltaje de cero a los relés que comandan a las válvulas

Regresar a la Pantalla 1

Si se desea, al inicio de la función se puede regresar a la primera pantalla para escoger otra función o para acabar con el programa

Para el caso del Goteo por tiempo ingresado por el usuario al computador, se utiliza la pantalla de la Figura 4.3.

Goteo por Humedad

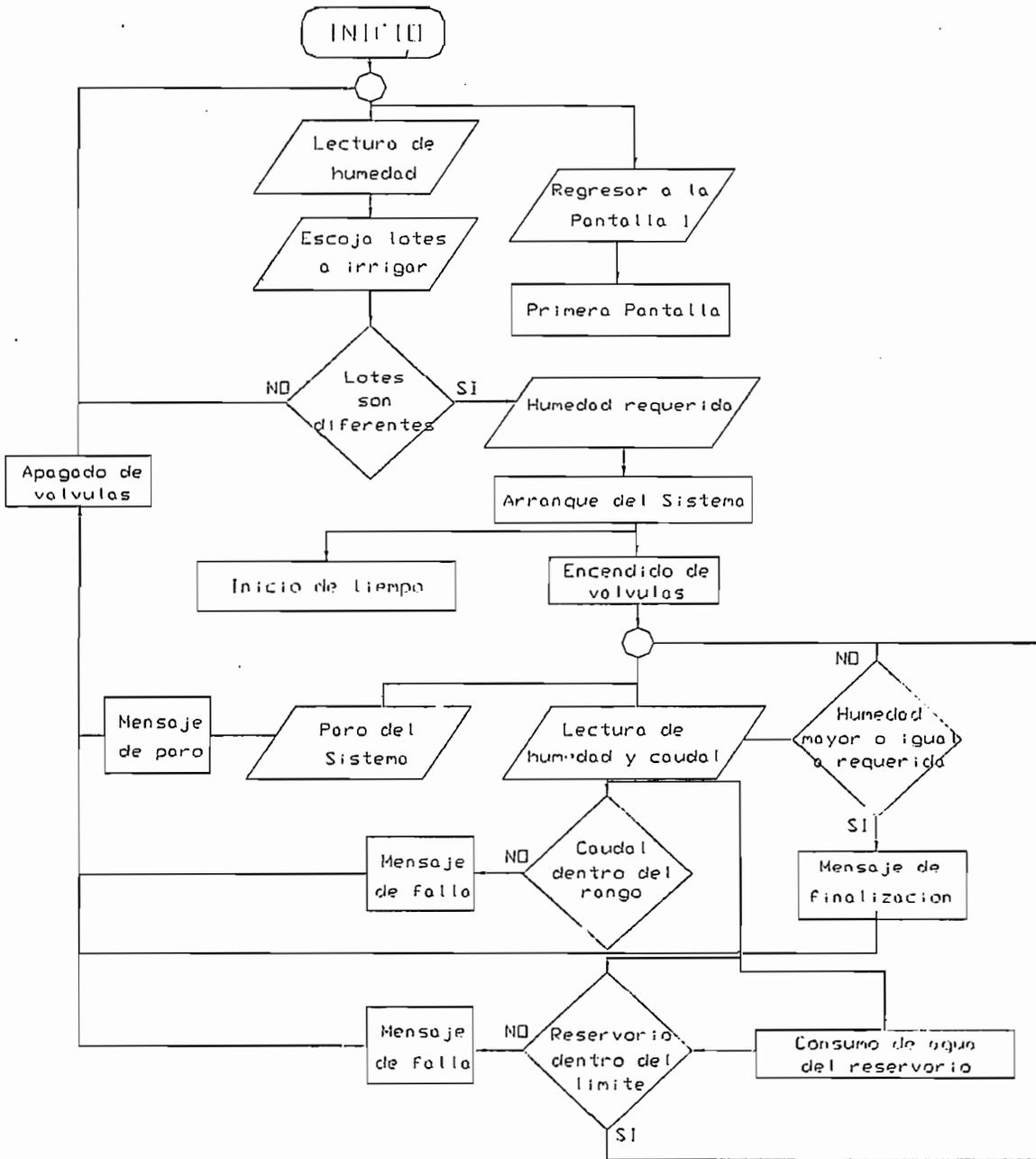


Diagrama de Flujo 6

El Diagrama de Flujo 6 muestra el algoritmo con el cual se encienden y apagan las válvulas solenoides de la estación de filtrado y las de los lotes escogidos para realizar el goteo por

humedad. La estructura de las tareas del algoritmo se describen brevemente a continuación en lenguaje estructurado.

Lectura de humedad

Con la ayuda del prototipo se leen los datos de humedad en el campo

Escoger lotes a irrigar

Se permite escoger dos lotes distintos de cada bloque

Lotes son diferentes

Si los lotes son los mismos se acaba la función y se regresa al inicio
Si los lotes son diferentes se continua con la función

Humedad requerido

Se incrementa desde cero hasta el valor deseado la humedad que se quiere dar al terreno
Si la humedad requerida es mayor a cero se hacen visibles el control de arranque y paro del sistema

Arranque del Sistema

Se presiona el control de arranque, si se desea realizar la función

Encendido de válvulas

Se da la orden para que se encienda el led que representa el funcionamiento de las válvulas, y con esta orden se entrega un voltaje para el encendido del los relés que activarán dichas válvulas

Lectura de humedad y caudal

Se leen los datos de humedad de los siete sensores y también el dato del contador de caudal

Caudal dentro del rango

Si el caudal se encuentra entre los 50 y 190 GPM la función continúa
Si el caudal no se encuentra entre el rango determinado, se imprime un mensaje de falla por caudal, se apagan las válvulas encendidas, y se vuelve al inicio de la función

Reservorio dentro del límite

Si el reservorio se encuentra con más de 600 m³ la función continua
Si el reservorio no tiene más de 600 m³ la función termina, se imprime un mensaje de falla por falta de agua, se apagan las válvulas y se regresa al inicio de la función

Inicio del tiempo

Se inicializa el reloj para tomar el tiempo transcurrido aunque este no interviene en la función

Humedad mayor o igual a requerida

Si la humedad no es mayor a la requerida, la función continúa
Si la humedad es mayor a la requerida, se imprime un mensaje de que termino la función normalmente, se apaga las válvulas, y se regresa al inicio de la función

Paro del Sistema

Si se presiona el control de paro, se imprime un mensaje de paro por el operador, se apagan las válvulas, y se regresa al inicio de la función

Apagado de válvulas

Se da la orden para que en el prototipo se apaguen los leds que representan a las válvulas de filtración y de los lotes escogidos, y se envía un voltaje de cero a los relés que comandan dichas válvulas

Regresar a la Pantalla 1

Si se desea, al inicio de la función se puede regresar a la primera pantalla para escoger otra función o para acabar con el programa

Al Goteo automatizado por humedad, se ingresa a través de la pantalla que se ve en la Figura 4.4.

Aspersión exclusiva por tiempo

El algoritmo con el cual se encienden y apagan las válvulas de filtración durante la aspersión exclusiva por tiempo, se encuentra en el diagrama de flujo 5. La estructura de las tareas del algoritmo es similar a la del goteo por tiempo con la diferencia de que aquí se escoge el bloque en el que se quiere hacer aspersión.

La pantalla de aspersión exclusiva por tiempos dados por el usuario al computador se la puede ver en la Figura 4.5.

Aspersión exclusiva por humedad

El Diagrama de Flujo 6 muestra el algoritmo con el cual se abren y cierran las válvulas de la estación de filtrado durante la aspersión exclusiva por humedad. La estructura de las tareas del algoritmo es similar a la del encendido de válvulas para el goteo, con la diferencia de que no se tiene que abrir ninguna válvula en el campo, también se tienen las mismas funciones en el caso de falla del sistema tanto por caudal como por falta de agua.

Esta parte del programa tiene como apoyo a la pantalla que se puede ver en la Figura 4.6.

Aspersión y Goteo simultáneos por Tiempo

El Diagrama de Flujo 5 muestra el algoritmo con el cual se abren y cierran las válvulas de filtración y las de los lotes escogidos para el goteo. La estructura de las tareas del algoritmo es similar a la de la apertura y cierre de válvulas para el goteo, con la diferencia que en este caso al escoger los lotes a irrigar, se escoge primero el bloque que se va a hacer la aspersión, para luego escoger los lotes que se desea realizar el goteo, y si estos son diferentes, se continúa la función.

La pantalla de aspersión y goteo simultáneos por tiempos entregados al computador, se la puede observar en la Figura 4.7.

Retrolavado de Filtros por Tiempos

Para la apertura y cierre de las válvulas de retrolavado de cada filtro en esta función, se tiene el diagrama de flujo 7, en el cual se encuentran las tareas a realizar, las cuales se detallan brevemente:

Tiempo requerido

Se incrementa desde cero hasta el valor deseado de tiempo de retrolavado de filtros
Si el tiempo es mayor a cero se hacen visibles el control de arranque y paro del sistema

Arranque del Sistema

Se presiona el control de arranque, si se desea realizar la función

Encendido de Válvulas 1

Se da la orden para que se encienda el led que representa el funcionamiento de las válvulas para el lavado del filtro 1, y con esta orden se entrega un voltaje para el encendido de los relés que activarán dichas válvulas

Inicio del tiempo

Se inicializa el reloj para tomar el tiempo transcurrido

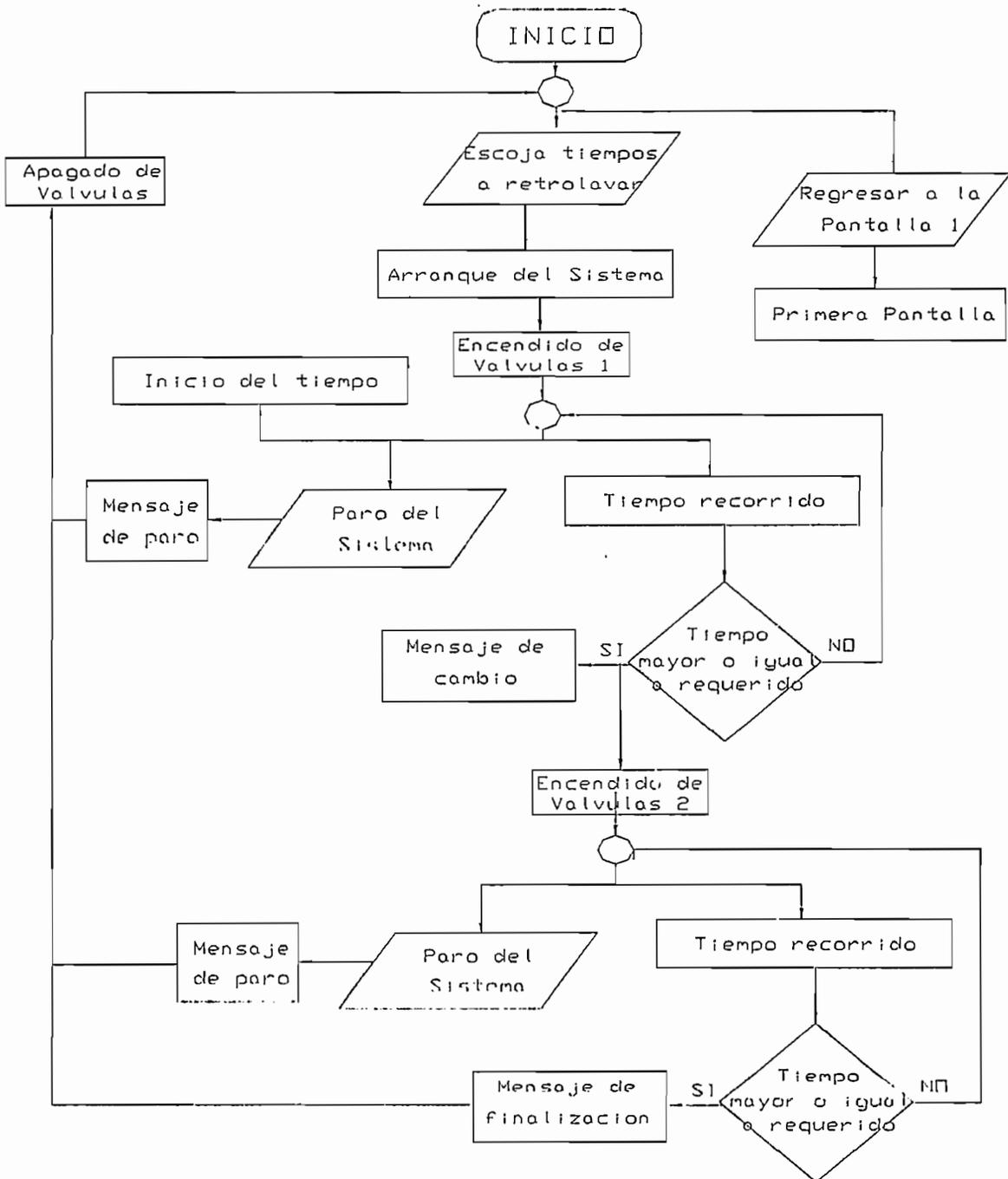


Diagrama de Flujo 7

Tiempo mayor o igual a requerido'

Si el tiempo no es mayor al requerido, la función continúe

Si el tiempo es mayor al requerido, se imprime un mensaje de que termino el lavado del filtro 1 y comienza el lavado del filtro 2, se cierran las válvula para el filtro 1 y se abren las del filtro 2

Encendido de Válvulas 2

Se da la orden para que se encienda el led que representa el funcionamiento de las válvulas para el lavado del filtro 2, y con esta orden se entrega un voltaje para el encendido de los relés que activarán dichas válvulas

Paro del Sistema

Si se presiona el control de paro, se imprime un mensaje de paro por el operador, se apagan las válvulas que estaban funcionando, y se regresa al inicio de la función

Apagado de válvulas

Se da la orden para que en el prototipo se apaguen los leds que representan a las válvulas de filtración, y se envía un voltaje de cero a los relés que comandan dichas válvulas

Regresar a la Pantalla 1

Si se desea, al inicio de la función se puede regresar a la primera pantalla para escoger otra función o para acabar con el programa

La pantalla que comanda el retrolavado de filtros por tiempos, se lo encuentra en la Figura 4.10

Retrolavado de Filtros por tiempos establecidos

El diagrama de flujo 7 muestra el algoritmo por medio del cual se abren y cierran la válvulas de lavado de los filtros 1 y 2 durante esta función. Sus tareas son similares a las anteriores, con la diferencia de que en esta no se necesita ingresar tiempos al computador, estos vienen ya establecidos.

La pantalla de la Figura 4.11 muestra el retrolavado por tiempos establecidos.

Fertirrigación por Tiempos

El diagrama de flujo 6 contiene el algoritmo que gobierna la apertura y cierre de las válvulas de filtración de los lotes escogidos y de las inyectoras de fertilizantes durante esta función. Sus tareas son muy similares a la del goteo por tiempo

con la diferencia de que aquí se abren también las válvulas fertilizantes. En la Figura 4.12, se encuentra la pantalla de esta función.

Fertirrigación por humedad

El diagrama de flujo 7 contiene el algoritmo que controla la apertura y cierre de las válvulas de esta función. Sus tareas son similares a la del goteo por humedad, con la diferencia de que aquí se tiene que abrir las válvulas inyectoras de fertilizante.

La pantalla que gobierna esta función se la encuentra en la Figura 4.13

Fumigación

El diagrama de flujo 8 tiene la siguientes tareas:

Tiempo requerido

Se incrementa desde cero hasta el valor deseado de tiempo de fumigación
Si el tiempo es mayor a cero se hacen visibles el control de arranque y paro del sistema

Arranque del Sistema

Se presiona el control de arranque, si se desea realizar la función

Encendido de Válvula

Se da la orden para que se encienda el led que representa el funcionamiento de la válvula de fumigación, y con esta orden se entrega un voltaje para el encendido del relé que activará dicha válvula

Inicio del tiempo

Se inicializa el reloj para tomar el tiempo transcurrido

Tiempo mayor o igual a requerido

Si el tiempo no es mayor al requerido, la función continua
Si el tiempo es mayor al requerido, se imprime un mensaje de que termino la función normalmente, se apaga la válvula de fumigación, y se regresa al inicio de la función

Paro del Sistema

Si se presiona el control de paro, se imprime un mensaje de paro por el operador, se apaga la válvula de fumigación, y se regresa al inicio de la función

Apagado de bomba

Se da la orden para que en el prototipo se apague el led que representa a la válvula de fumigación, y se envía un voltaje de cero al relé que comanda al contactor de la válvula

Regresar a la Pantalla 1

Si se desea, al inicio de la función se puede regresar a la primera pantalla para escoger otra función o para acabar con el programa

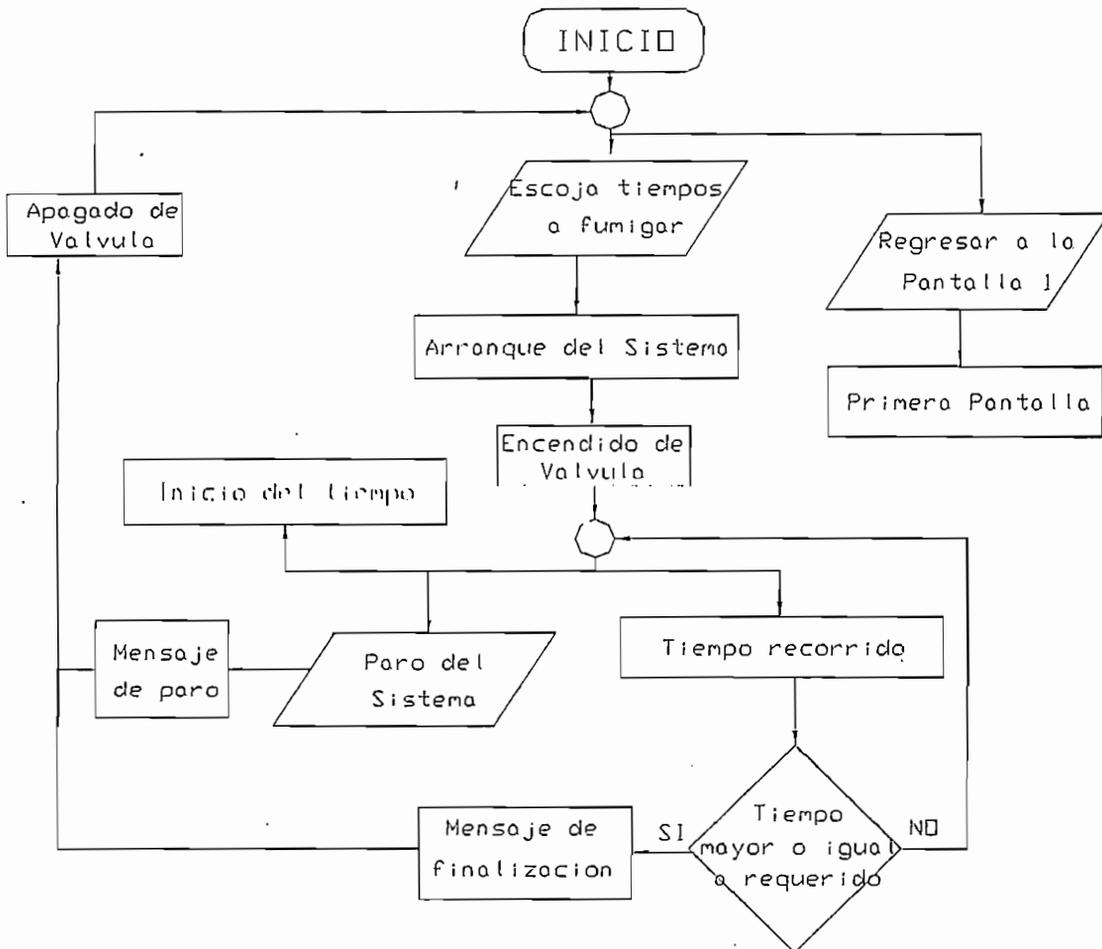


Diagrama de Flujo 8

La Figura 4.14 muestra la pantalla de la fumigación

4.3 CONTROL DE ENCENDIDO Y APAGADO DE SUBLIMADORES

La pantalla con la que se ingresa a esta parte del programa contiene los bloques con sus respectivos lotes, las conexiones

de sublimadores, un switch principal, un control que permite acceder a las otras dos pantallas de esta función que son la sublimación de todos los lotes por tiempo, o la función de sublimación escogiendo los lotes y el tiempo de sublimación. Esta pantalla se encuentra en la Figura 4.15.

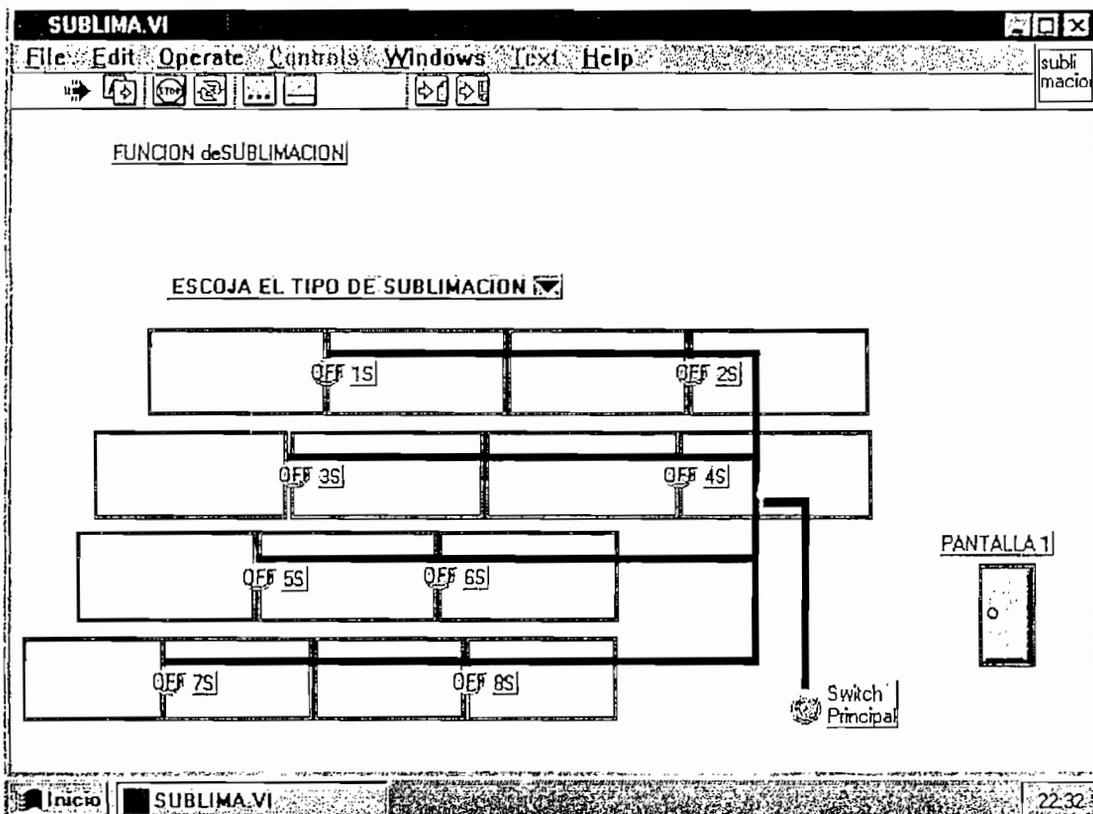


Figura 4.15.- Pantalla de Sublimación

Sublimación de lotes escogidos

Para el encendido y apagado de sublimadores en esta función, se tiene el diagrama de flujo 9, en el cual se encuentra las tareas a realizar, las cuales se detallan brevemente:

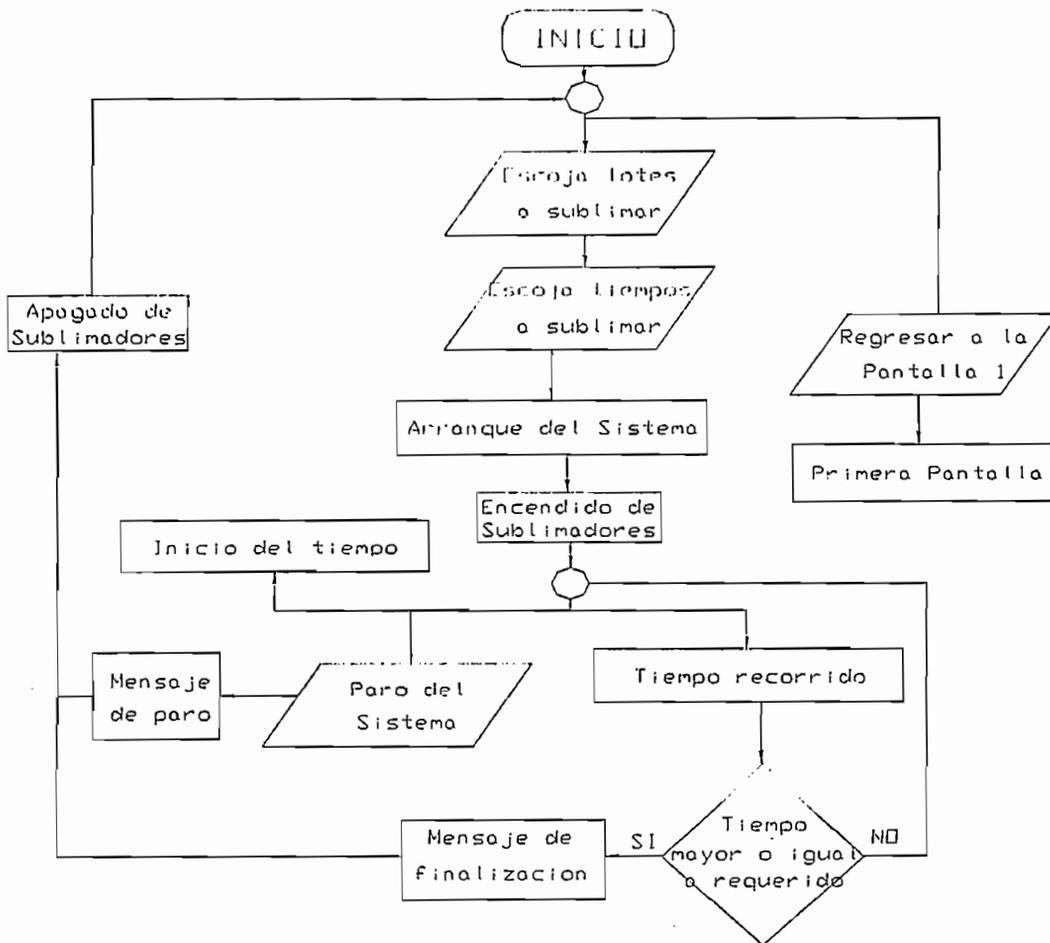


Diagrama de Flujo 9

Tiempo requerido

Se incrementa desde cero hasta el valor deseado de tiempo a sublimar
 Si el tiempo es mayor a cero se hacen visibles el control de arranque y paro del sistema

Arranque del Sistema

Se presiona el control de arranque, si se desea realizar la función

Encendido de Sublimadores

Se da la orden para que se enciendan los leds que representa el funcionamiento de los sublimadores, y con esta orden se entrega un voltaje para el encendido de los relés que activarán los sublimadores escogidos

Inicio del tiempo

Se inicializa el reloj para tomar el tiempo transcurrido

Tiempo mayor o igual a requerido

Si el tiempo no es mayor al requerido, la función continúa
 Si el tiempo es mayor al requerido, se imprime un mensaje de que terminó la función normalmente, se apagan los sublimadores, y se regresa al inicio de la función

Paro del Sistema

Si se presiona el control de paro, se imprime un mensaje de paro por el operador, se apagan los sublimadores, y se regresa al inicio de la función

Apagado de bombas

Se da la orden para que en el prototipo se apaguen los letreros que representa a los sublimadores, y se envía un voltaje de cero a los relés que comandan dichos sublimadores

Regresar a la Pantalla 1

Si se desea, al inicio de la función se puede regresar a la primera pantalla para escoger otra función o para acabar con el programa

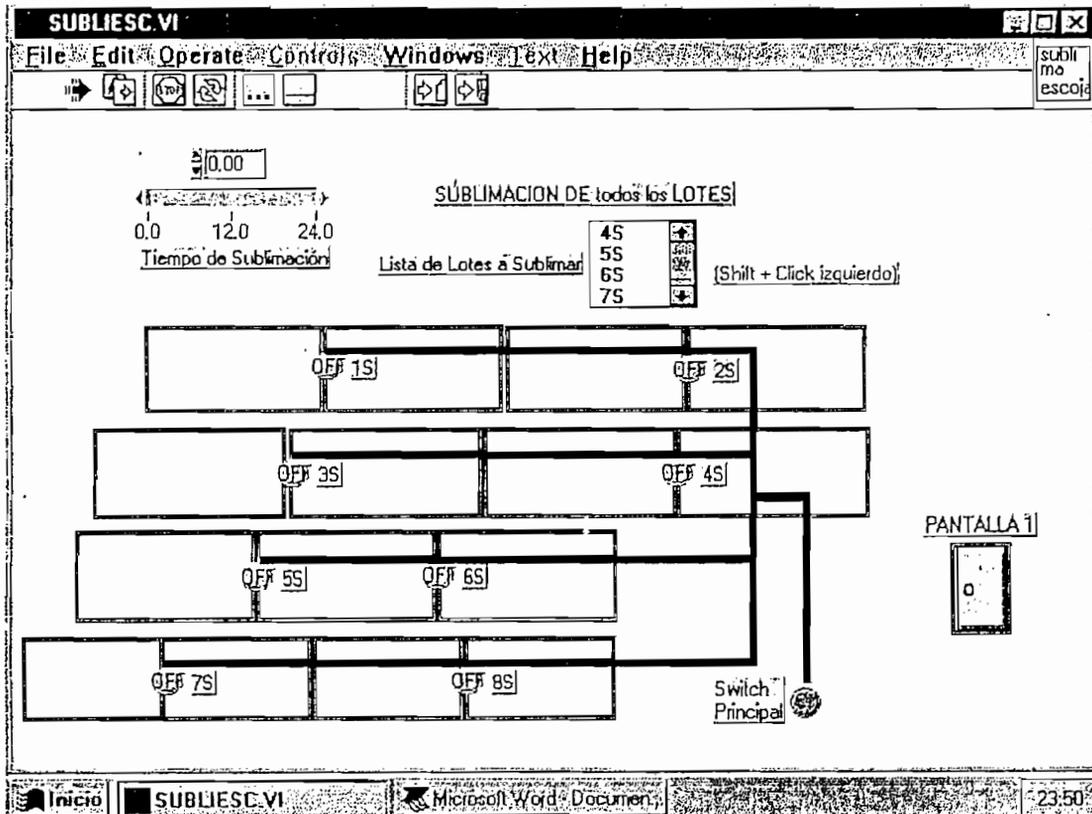


Figura 4.16.- Pantalla de Sublimación escogiendo Lotes

La pantalla que controla esta función se la puede visualizar en la Figura 4.16, aquí se presenta lo mismo que la pantalla anterior de sublimación, pero en esta se incluyen el control de escoger los lotes a sublimar, un control de tiempo de sublimación, el indicador de tiempo transcurrido, el arranque del sistema, el para del sistema de emergencia y la opción de regresar a la primera pantalla.

CAPÍTULO 5

PRUEBAS Y RESULTADOS

Como se indicó en el capítulo de introducción, el costo de reproducir una instalación hidráulica completa de una plantación de rosas es excesivamente caro. Por lo mismo se optó por reproducir la plantación en una maqueta a escala con exactamente el mismo número de elementos. Un sensor de humedad relativa, una válvula solenoide y una bomba hidráulica, permitirán demostrar que el sistema desarrollado es capaz de captar datos desde el terreno (sensores de humedad) y de comandar electroválvulas y bombas. En la maqueta se ha representado cada válvula, cada bomba y cada sublimador por un led, los sensores de humedad y el medidor de caudal por un potenciómetro para cada uno. Por otra parte, se tiene la opción en la maqueta de conectar adicionalmente a los led un solenoide y una bomba hidráulica y, por medio de un interruptor, intercambiar entre el funcionamiento del sensor de humedad relativa real y el potenciómetro. La maqueta consta además de dos conexiones para 110 voltios en los cuales se conectará el solenoide y la bomba. El gráfico de esta maqueta se lo puede observar en la Figura 4.1.

Las pruebas intentaran comprobar si el software es capaz de comportarse según lo programado y controlar correctamente los leds o electro-válvulas y motores.

5.1 PRUEBAS REALIZADAS

Las especificaciones técnicas de los componentes que existen en el Laboratorio de Instrumentación con los cuales se contó para las pruebas son:

- Sensor de humedad relativa.- Necesita de una fuente de 6 a 30 voltios DC, e indica la humedad relativa existente con una compensación de temperatura en un rango de 4 a 20 miliamperios que equivale de 0 a 100 % de humedad relativa.

- Válvula solenoide.- Voltaje de funcionamiento de 110 a 120 voltios AC, 60 Hz y con una potencia de 9 watios, 115 miliamperios.

- Bomba Hidráulica.- Voltaje de funcionamiento de 110 a 120 voltios AC, 60 Hz y con una potencia de 131 watios, 1.65 amperios.

Para el funcionamiento de todos los elementos, se cuenta con las salidas digitales de la tarjeta DAS-128 la cual entrega 0 voltios DC en condición de apagado y 5 voltios DC en la condición de encendido.

En el caso de funcionamiento de sublimadores, que sólo se representa por leds en la maqueta, se utiliza una fuente de 12 voltios DC 300 miliamperios adicional. La salida digital de la tarjeta dispara un transistor npn que permite el paso de corriente a través del led encendiéndolo, este circuito se lo puede observar en la Figura 5.1.

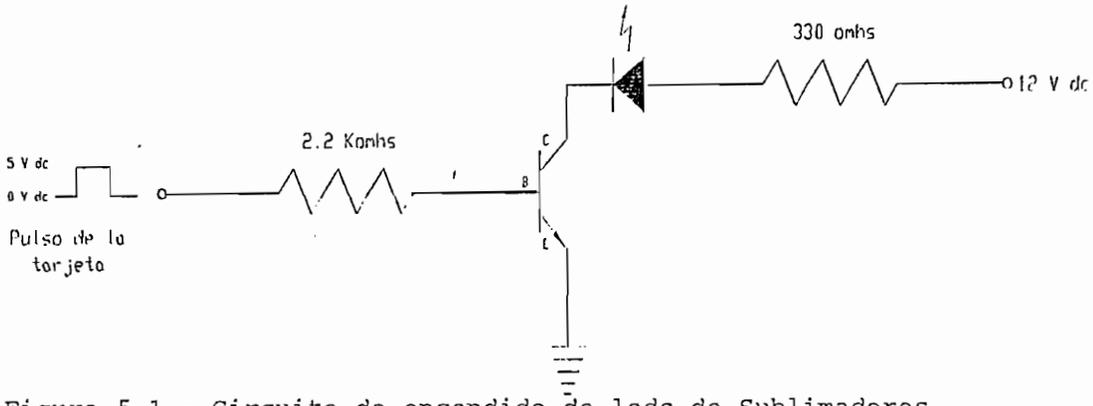


Figura 5.1.- Circuito de encendido de leds de Sublimadores

Para el funcionamiento de los leds que representan las válvulas solenoides se utilizó un circuito similar, este circuito se encuentra en la Figura 5.2.

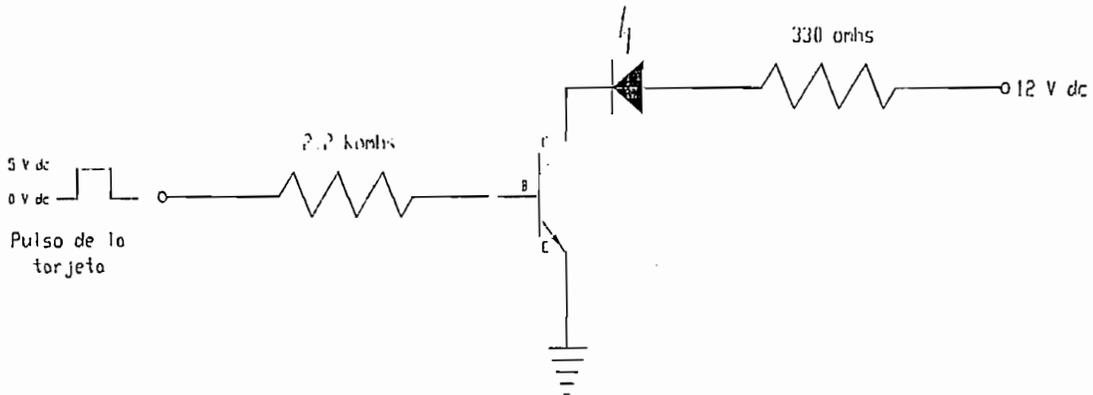


Figura 5.2.- Circuito de encendido de leds de Válvulas

Para tener la opción de conectar en cualquier punto la válvula solenoide exterior, se lo realiza por medio de un transistor pnp el cual activa un relé que cerrará uno de sus contactos y, permitirá el paso de corriente hacia la válvula solenoide que se encuentra conectado a la fuente de voltaje de 110 voltios AC. Así, se consigue que adicionalmente al funcionamiento del led, se prenda la válvula solenoide en la posición que se la coloque.

Esta opción existe para todas las válvulas del campo para el

riego y en dos válvulas de la estación de bombeo y filtrado, este circuito se encuentra en la Figura 5.3.

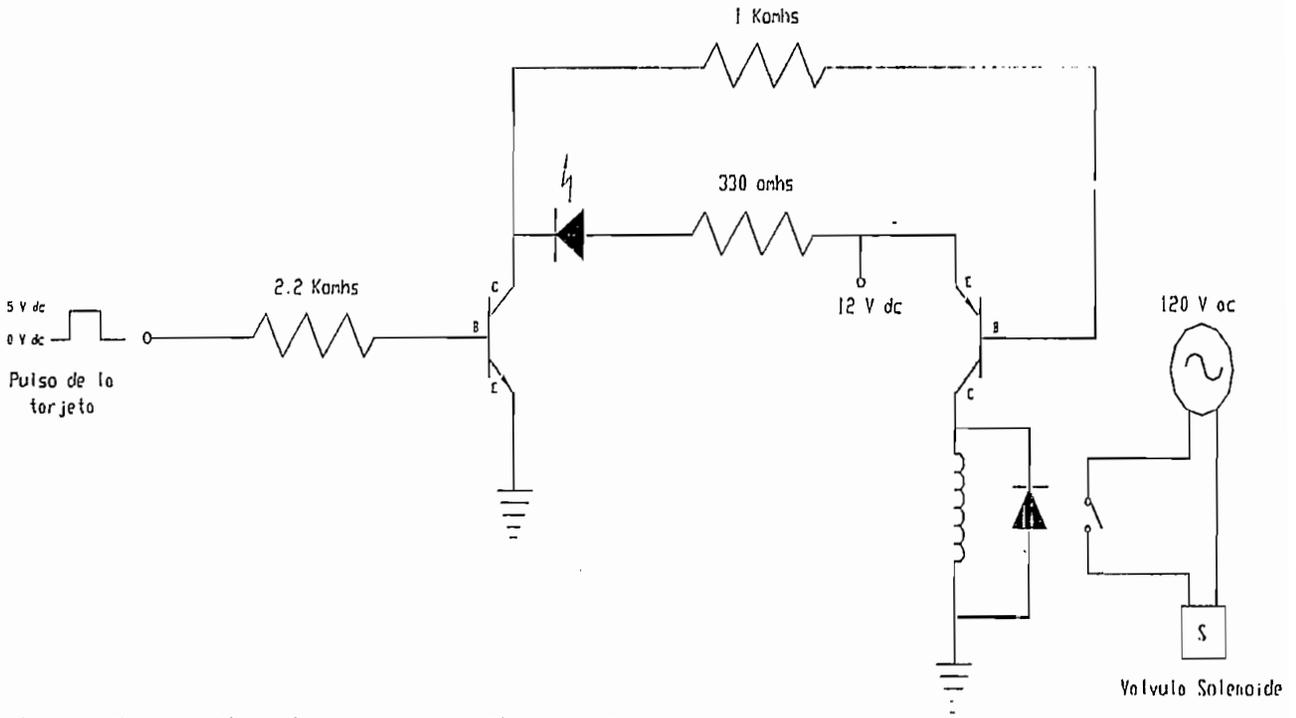


Figura 5.3.- Circuito de encendido de leds y Válvula exterior

Para las bombas hidráulicas se utilizó un circuito adicional al anterior con un transistor npn para que entregue la corriente a través del led y otro transistor pnp para activará un relé que cuando cierra su contacto, entrega la corriente hacia la bomba hidráulica. Esta se encuentra conectado a la fuente de voltaje de 110 voltios AC. Así se obtiene el funcionamiento del led y la bomba en la posición que se coloque en cualquiera de los tres puestos a elegirse, el diagrama de este circuito se encuentra en la Figura 5.4.

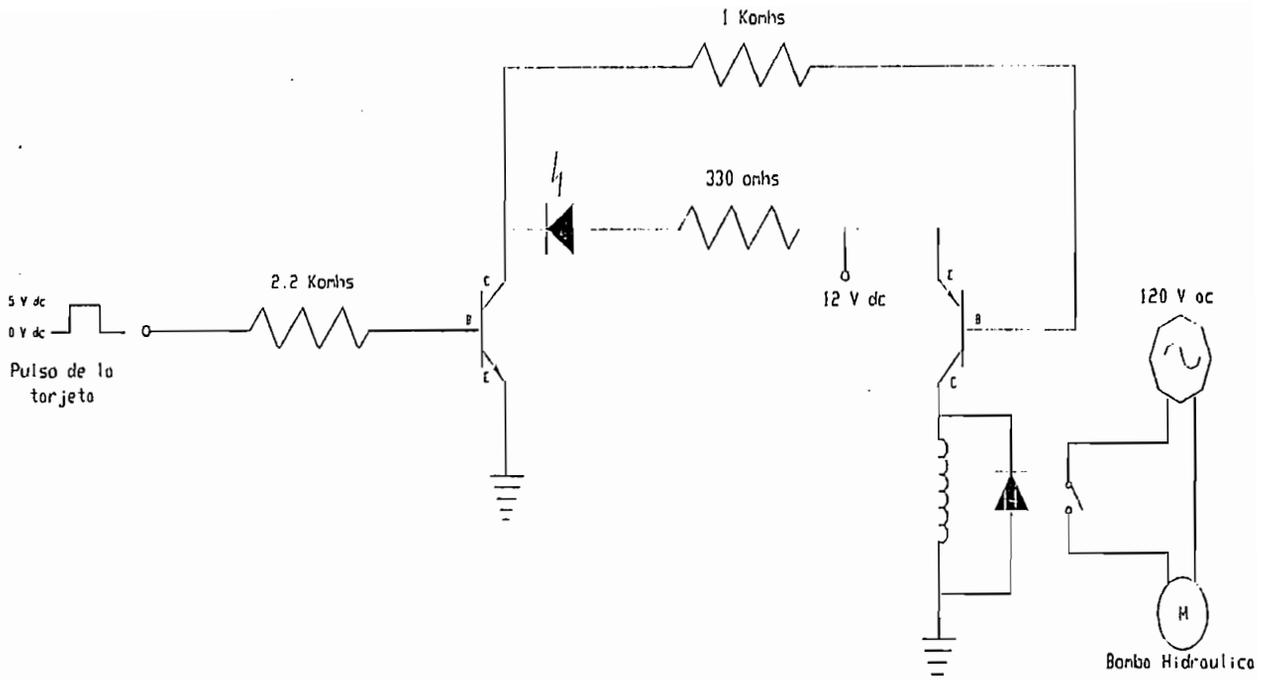


Figura 5.4.- Circuito de encendido de leds y Bomba exterior

Para el medidor de caudal, ya que su costo es realmente alto, se lo ha simulado con un potenciómetro el cual permite, por medio de un amplificador operacional simular una lectura ficticia entre 0 y 10 voltios DC, que es lo que se necesita para las entradas análogas de la tarjeta DAS-128, este circuito se encuentra en la Figura 5.5.

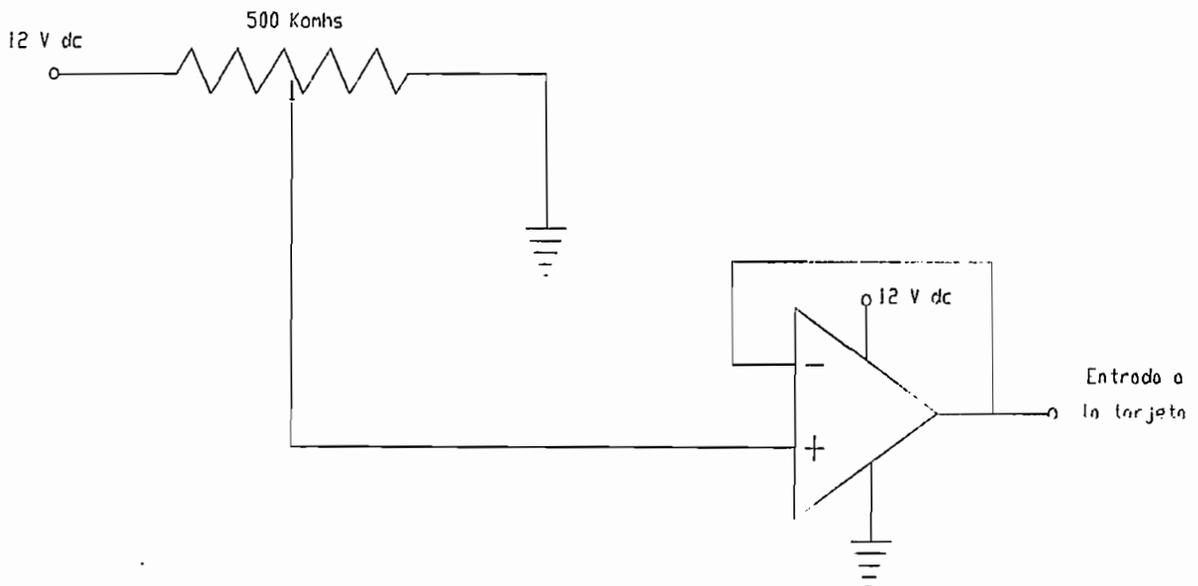


Figura 5.5.- Circuito de simulación de medidor de caudal

En el caso de los sensores de humedad, que en el campo vienen en número de 7, se representan también por medio de potenciómetros, con lo cual manualmente se varía la humedad relativa desde el 0 hasta el 100 %. Adicionalmente, se tiene un switch junto a cada potenciómetro para escoger entre el funcionamiento del potenciómetro como sensor de humedad y el sensor de humedad relativa real. En este caso último, por medio de un amplificador operacional se entregue el voltaje en DC de 0 a 10 voltios que se necesita para las entradas análogas de la tarjeta, este circuito se encuentra en la Figura 5.6.

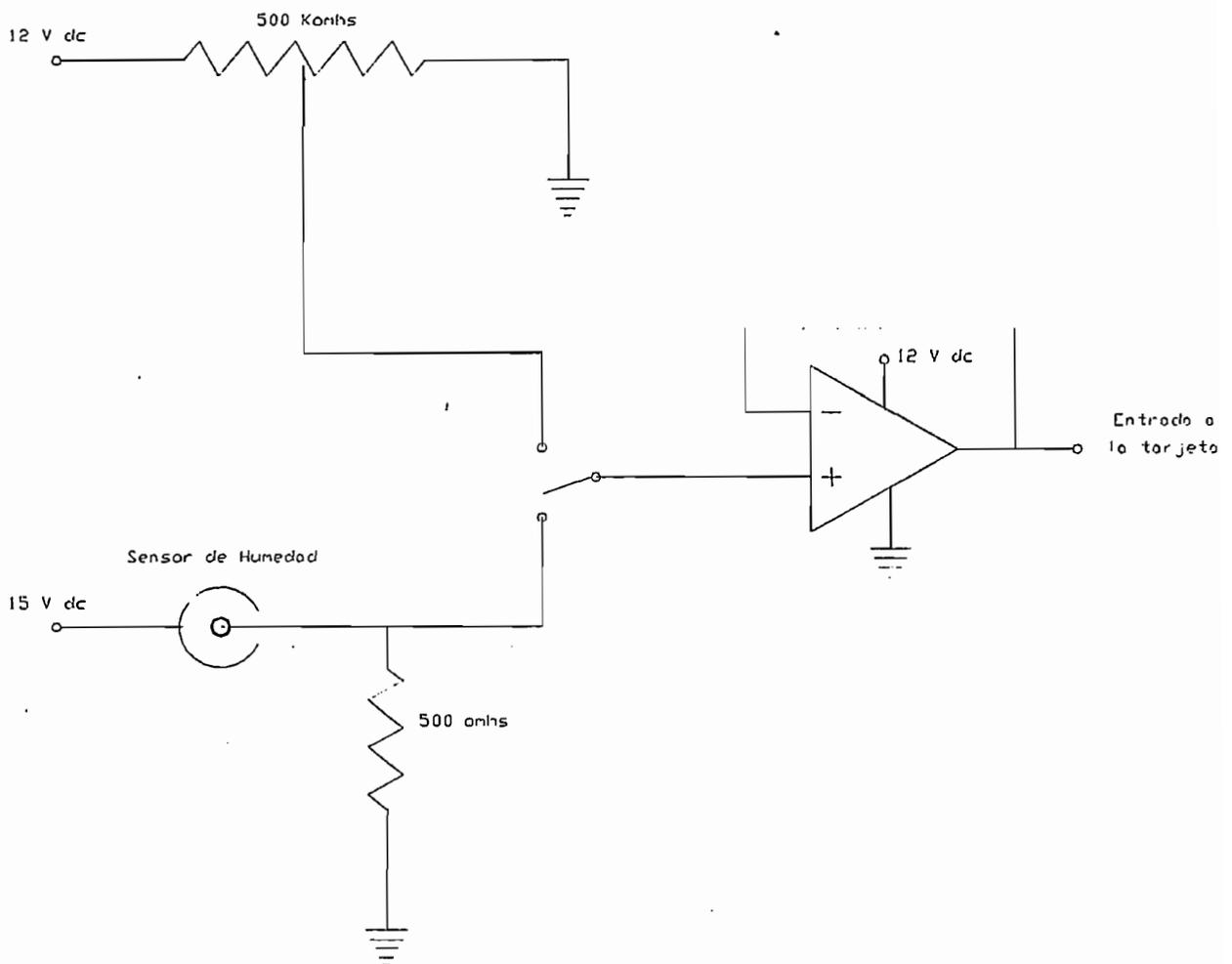


Figura 5.5.- Circuito de sensor de humedad con simulación

Con esto, por medio de los potenciómetros se simulará manualmente la variación ya sea de medición de caudal en el caso del sensor 8 teniendo que permanecer entre el valor de 50 y 240 en funcionamiento normal, y de 0 a 49 o de 241 a 255 en el caso de falla. Así mismo, se simula con el potenciómetro la variación de la humedad relativa entre el valor de 0 a 235 donde 0 es la humedad relativa de 0 % y 235 el valor de 100 % en la humedad relativa.

Para acondicionar la señal del sensor de humedad relativa real OMEGA 92-C se emplea una fuente de 15 voltios DC y una resistencia de 500 ohms con lo cual se obtendrá el voltaje de 0 a 10 voltios DC requeridos.

Cuando el programa se hizo funcionar, todas las funciones escogidas se las pudo ver realizadas en la pantalla. Por ejemplo, cuando se simuló el goteo en ciertos lotes, luego de dar la orden de iniciar el proceso, los leds de bomba principal, válvulas 1R, 1F, 2F, 2R, y los leds de las válvulas de los lotes escogidos se prendieron y cambiaron de estado OFF a estado ON. Al mismo tiempo que esto sucedió en la pantalla, se pudo observar el mismo funcionamiento en el prototipo construido a través de los leds de simulación de válvulas y/o electro-bombas.

Además, gracias a los circuitos adicionales funcionaron la válvula solenoide, y la bomba eléctrica exterior al prototipo, lo cual indicó que el software y hardware funcionaron. Igualmente se pudo observar en la pantalla el cambio de valores

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES

y prueba y toda aplicación de medida. Se lo puede utilizar para una amplia variedad de otras aplicaciones.

Esta tesis da una pauta a que se puedan realizar otros programas de tesis para una finca de flores, y automatizar procesos de control de calidad, empaquetamiento y envío.

6.2 CONCLUSIONES

Luego de concluido el desarrollo del programa para automatización del riego en una plantación de flores, se pueden destacar los siguientes aspectos:

- Para un diseño completo de un sistema de irrigación para plantación de flores, se debe comenzar por el diseño agronómico para determinar la cantidad de agua que la planta necesita, así como determinar sus problemas de salinidad, marchitez, etc., para con estos datos diseñar el sistema hidráulico que cubre la conducción y distribución de los elementos que la planta necesita, para luego diseñar los elementos eléctricos que permitirán que el sistema funcione.

- Existe gran variedad de elementos pero la Ingeniería aplicada a este tipo de sistemas, no sólo se conforma con cumplir las especificaciones técnicas, sino también cumplir con las condiciones económicas que un proyecto de esta naturaleza requiere, esto es abaratar costos sin perder calidad.

- El programa LabVIEW tiene muchos alcances, y en esta tesis no se ha llegado a demostrar todas las posibilidades que este programa puede dar al usuario. Inclusive se puede notar que con la utilización de muy pocos comandos del programa se controla el funcionamiento de tan compleja y extensiva aplicación como implica controlar en todo punto un proceso de riego para plantación de flores.

- El software realizado permite al usuario tener una vivencia visual de los procesos, para saber si todo se está realizando como fue planificado o si algún proceso tiene falla, ya que el computador detectará dicha falla y enviará a la pantalla el mensaje respectivo.

- Una vez realizadas las pruebas, se demuestra que el programa funciona correctamente, y que su utilidad es la que se propuso inicialmente.

- La automatización en el riego ayuda a controlar mejor el proceso, tanto en el aspecto de funcionamiento como en el consumo de elementos necesarios para el proceso como son agua, fertilizantes, y fumigantes.

- La automatización da un control técnico hacia los procesos para que no se los realice como en tiempos pasados, y que su funcionamiento optimise la producción.

- Tanto el software, como el hardware de esta tesis, son realizados con la finalidad de simplificar procesos; así el programa se lo realizó en lenguaje virtual que utiliza comandos similares todo el tiempo para su facilidad de entendimiento, y

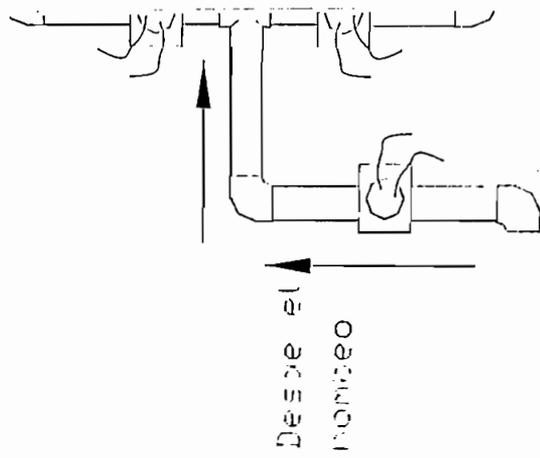
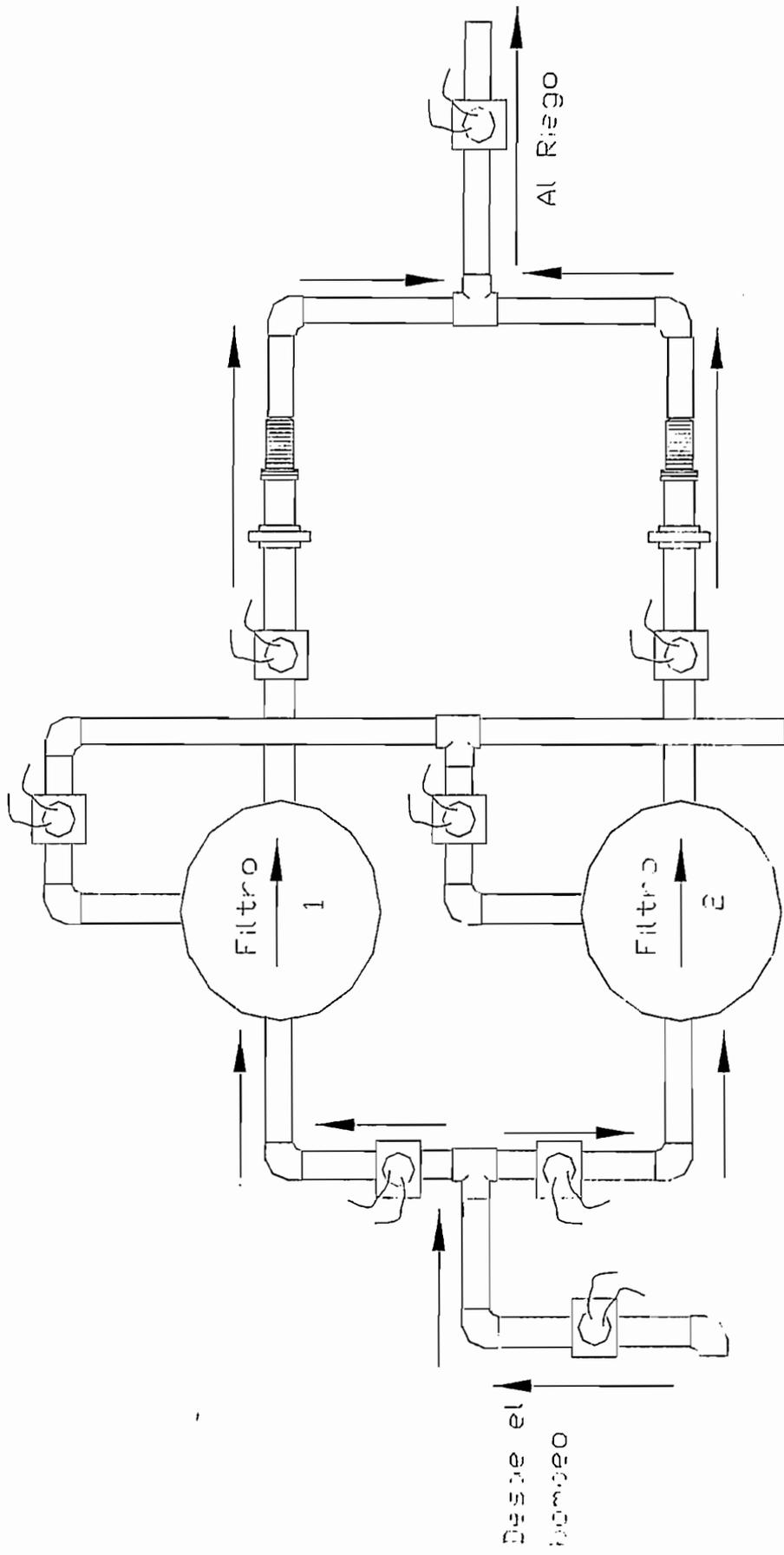
los circuitos que se han realizado tanto en el prototipo como en los elementos del campo son sencillos y de fácil comprensión.

ANEXO 1

SENTIDOS DE FLUJO

SENTIDO DE FLUJO DEL FUNCIONAMIENTO NORMAL

SENTIDO

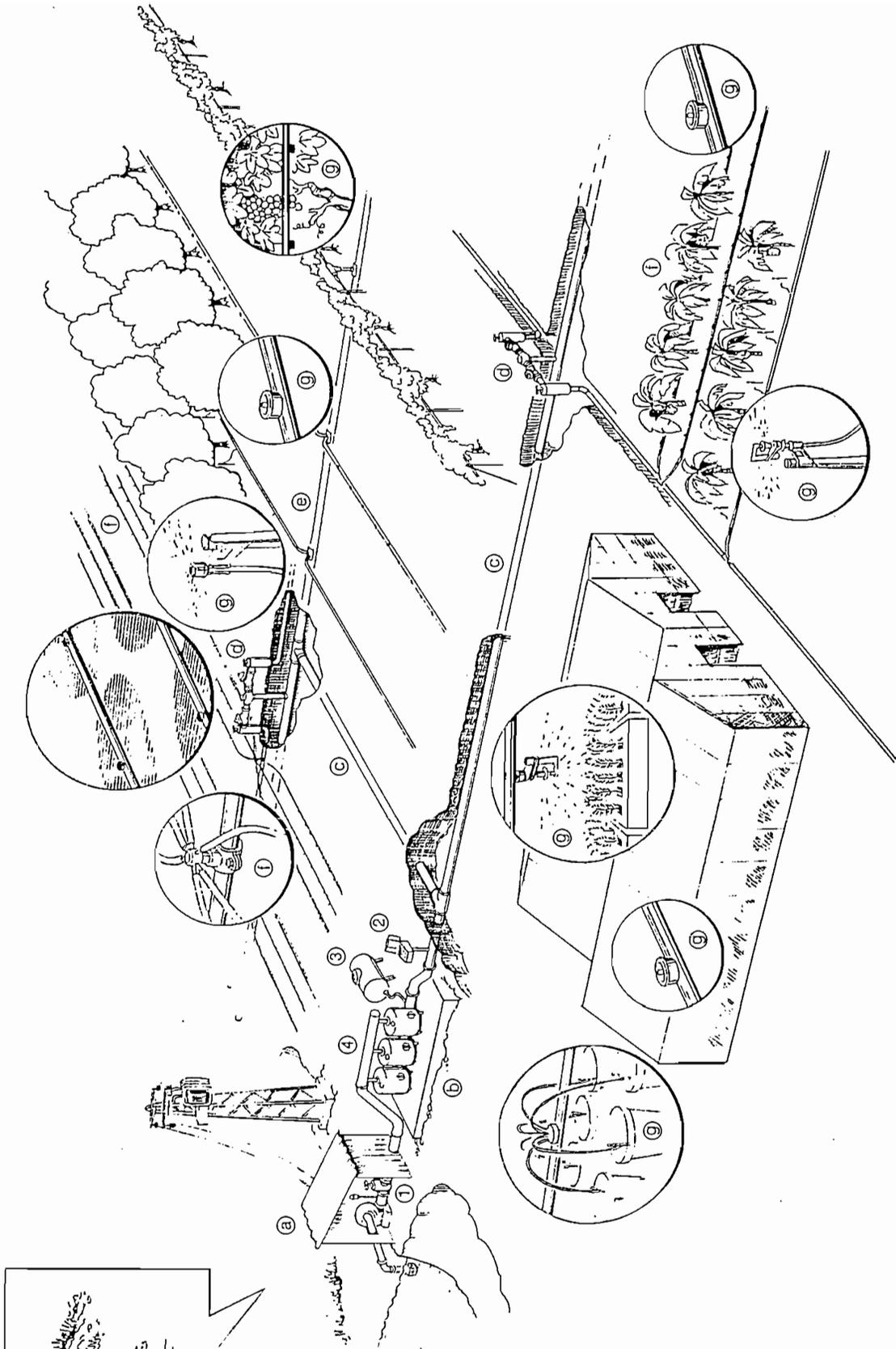
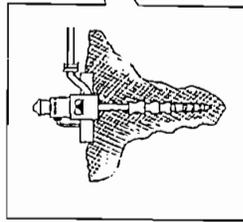
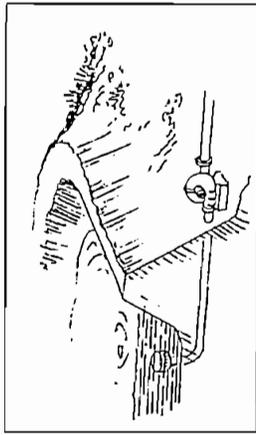


ANEXO 2

LISTA DE MATERIALES

CANTIDAD	DESCRIPCION DE EL EQUIPO	PRECIO UNITARIO (S)	TOTAL (S)
EQUIPO DE ASPERSION			
37	Collarines Plásticos 90 mm * 3/4"	15,000.00	555,000.00
5	Collarines Plásticos 63 mm * 3/4"	15,000.00	75,000.00
42	Elevadores PVC de 3/4" * 60 cm	1,700.00	71,400.00
42	Válvulas Webstermatic de 3/4"	23,000.00	966,000.00
720	Metros de Manguera de Polietileno de 25 mm	650.00	468,000.00
24	Acoples codo HG vayoneta de 3/4"	5,400.00	129,600.00
72	Porta-aspersores HG de 3/4" en T	15,000.00	1,080,000.00
72	Elevadores HG de 3/4" * 60 cm	5,200.00	374,400.00
72	Uniones Plásticas de 3/4"	850.00	61,200.00
72	Aspersores tipo Wobbler de 3/4" # 8	21,000.00	1,512,000.00
144	Acoples rápidos M de 3/4" * 25 mm	2,100.00	302,400.00
24	Tapones M HG de 3/4"	900.00	21,600.00
SUBTOTAL			5,616,600.00
TRANSPORTE			561,660.00
TOTAL GRUPO			6,178,260.00
ESTACION DE BOMBEO Y FILTRADO			
1	Eléctro-bomba de 12 HP trifásica Marca IHM suc-desc bridada de 3"	1,960,000.00	1,960,000.00
2	Filtros de Arena de 40 galones	246,000.00	492,000.00
2	Filtros de Anillos de 2"	87,000.00	174,000.00
SUCCION			
1	Válvula de Pie de 3"	121,000.00	121,000.00
1	Adaptador PVC M de 3" * 90 mm	18,000.00	18,000.00
1	Tubo de PVC de 90 mm * 6m 1.25 MPA	62,000.00	62,000.00
1	Adaptador PVC H de 3" * 90 mm	15,000.00	15,000.00
2	Acople HG Rosca Manguera 3"	9,600.00	19,200.00
1	Tramo de manguera de 3" * 2 m corrugada	82,500.00	82,500.00
4	Abrazaderas de 3" reforzadas	4,000.00	16,000.00
1	Tee HG de 3"	12,000.00	12,000.00
1	Bushing HG de 3" * 2"	11,500.00	11,500.00
1	Neplo HG de 2" * 40 cm	14,500.00	14,500.00
1	Válvula de Compuerta de 2"	35,000.00	35,000.00
1	Embudo metálico de 2"	25,000.00	25,000.00
1	Medio neplo de Hierro de 3"	9,500.00	9,500.00
1	Brida de Hierro de 3"	15,600.00	15,600.00
DESCARGA			
1	Brida de Hierro de 3"	15,600.00	15,600.00
1	Medio neplo de Hierro de 3"	9,500.00	9,500.00
1	Adaptador PVC H de 3" * 90 mm	15,000.00	15,000.00
1	Codo PVC de 90 mm * 90o	25,000.00	25,000.00
1	Tubo PVC de 90 mm 6 m 1.25 MPA	62,000.00	62,000.00
1	Universal PVC de 90 mm L/L	22,000.00	22,000.00
2	Adaptadores PVC M de 3" * 90 mm	18,000.00	36,000.00
1	Válvula Solenoide de 3"	253,000.00	253,000.00
1	Tee PVC de 90 mm	35,000.00	35,000.00

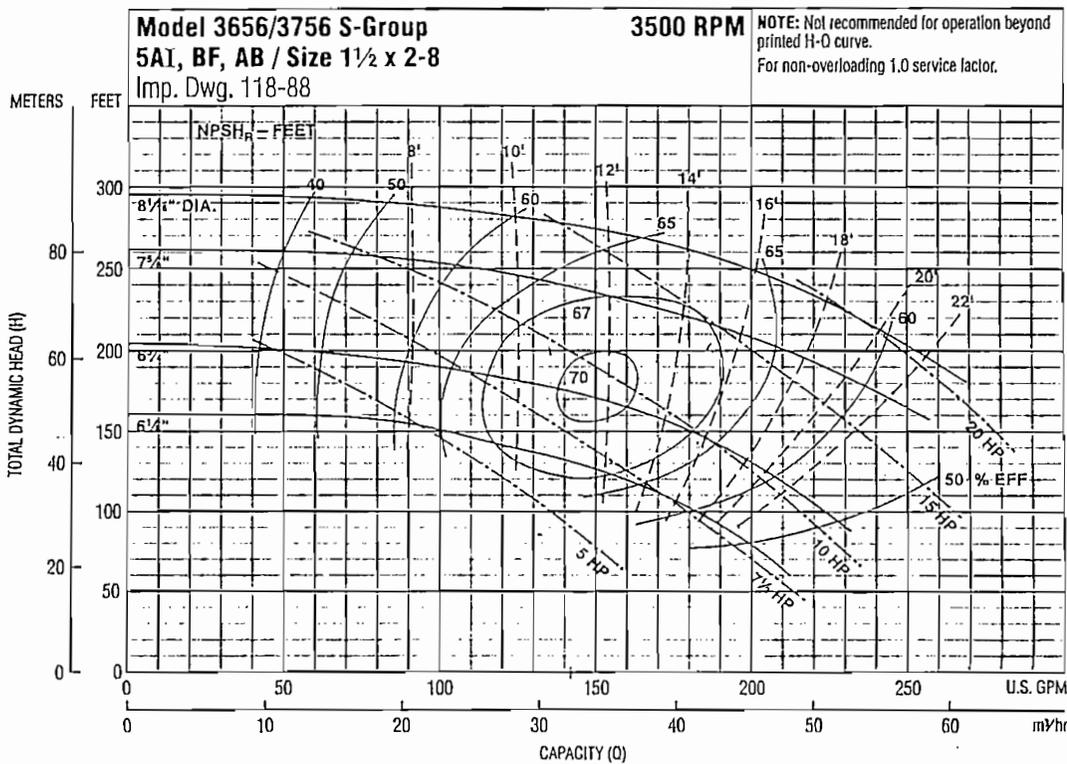
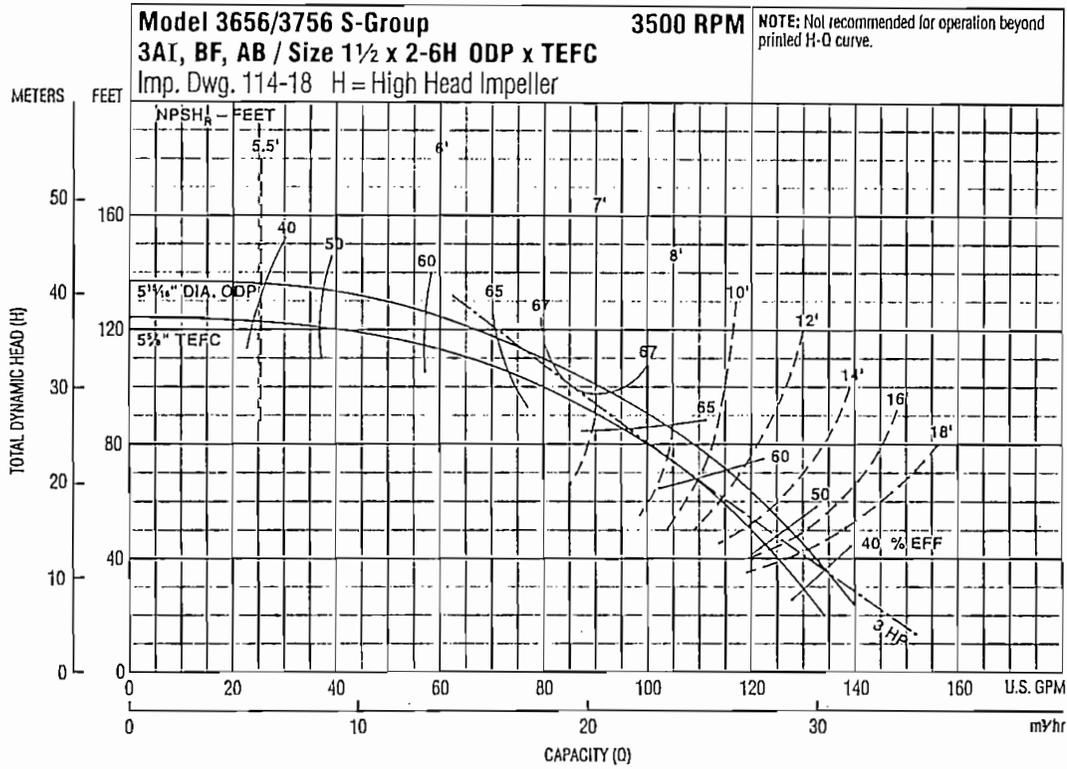
CANTIDAD	DESCRIPCION DE EL EQUIPO	PRECIO UNITARIO (\$)	TOTAL (\$)
PRE-FILTRADO			
2	Bujes de 90 mm * 63 mm	10.000.00	20.000.00
1	Tubo PVC de 63 mm 6 m 1.00 MPA	29.000.00	29.000.00
4	Adaptadores M de 2" * 63 mm	7.000.00	28.000.00
2	Válvula Solenoide de 2"	185.000.00	370.000.00
2	Codos PVC de 63 mm * 90o	9.000.00	18.000.00
2	Tees PVC de 63 mm	4.000.00	8.000.00
2	Bujes de 63 mm * 32 mm	10.200.00	20.400.00
2	Adaptadores H de 32 mm * 1"	3.500.00	7.000.00
2	Válvula de aire de 1"	35.000.00	70.000.00
2	Universales PVC de 63 mm	5.500.00	11.000.00
2	Adaptadores H de 2" * 63 mm	10.000.00	20.000.00
POST-FILTRADO			
1	Tubo PVC de 63 mm 6 m 1.00 MPA	29.000.00	29.000.00
2	Tapones PVC H de 1 1/2"	1.800.00	3.600.00
2	Adaptadores H de 2" * 63 mm	10.000.00	20.000.00
2	Codos PVC de 63 mm * 90o	9.000.00	18.000.00
4	Adaptadores M de 2" * 63 mm	7.000.00	28.000.00
2	Universales PVC de 63 mm	5.500.00	11.000.00
2	Codos PVC de 63 mm * 90o	9.000.00	18.000.00
2	Bujes de 90 mm * 63 mm	10.000.00	20.000.00
1	Tee PVC de 90mm	35.000.00	35.000.00
2	Adaptadores PVC H de 3" * 90 mm	18.000.00	36.000.00
1	Reducción PVC de 110 mm * 90 mm	15.000.00	15.000.00
DRENAJE			
2	Válvula Solenoide de 2"	185.000.00	370.000.00
2	Adaptadores M de 2" * 63 mm	7.000.00	14.000.00
1	Codo PVC de 63 mm * 90o	9.000.00	9.000.00
1	Universal PVC de 63 mm	5.500.00	5.500.00
1	Tee PVC de 63 mm	4.000.00	4.000.00
1	Tubo PVC de 63 mm 6 m 1.00 MPA	29.000.00	29.000.00
		SUBTOTAL	4.822.400.00
		TRANSPORTE	482.240.00
		TOTAL GRUPO	5.304.640.00
SISTEMA DE FERTIRRIGACION			
1	Eléctro-bomba de 1/2 HP monofásica Marca IHM	450.000.00	450.000.00
1	Inyector de Fertilizante Mazzei de 1 1/2" con Kit de conexión de succión	120.000.00	120.000.00
1	Filtro de anillos de 1"	60.000.00	60.000.00
2	Tee PVC de 63 mm	4.000.00	8.000.00
2	Buje de 63 mm * 32 mm	10.200.00	20.400.00
2	Válvula Solenoide de 1"	146.000.00	292.000.00
4	Universales PVC de 1" rosc	24.000.00	96.000.00
3	Neplos PVC rosc de 1" * 10 cm	600.00	1.800.00
2	Codo PVC rosc de 1" * 90o	5.500.00	11.000.00
2	Reducciones PVC de 1 1/2" * 1"	6.400.00	12.800.00
		SUBTOTAL	1.072.000.00
		TRANSPORTE	107.200.00
		TOTAL GRUPO	1.179.200.00



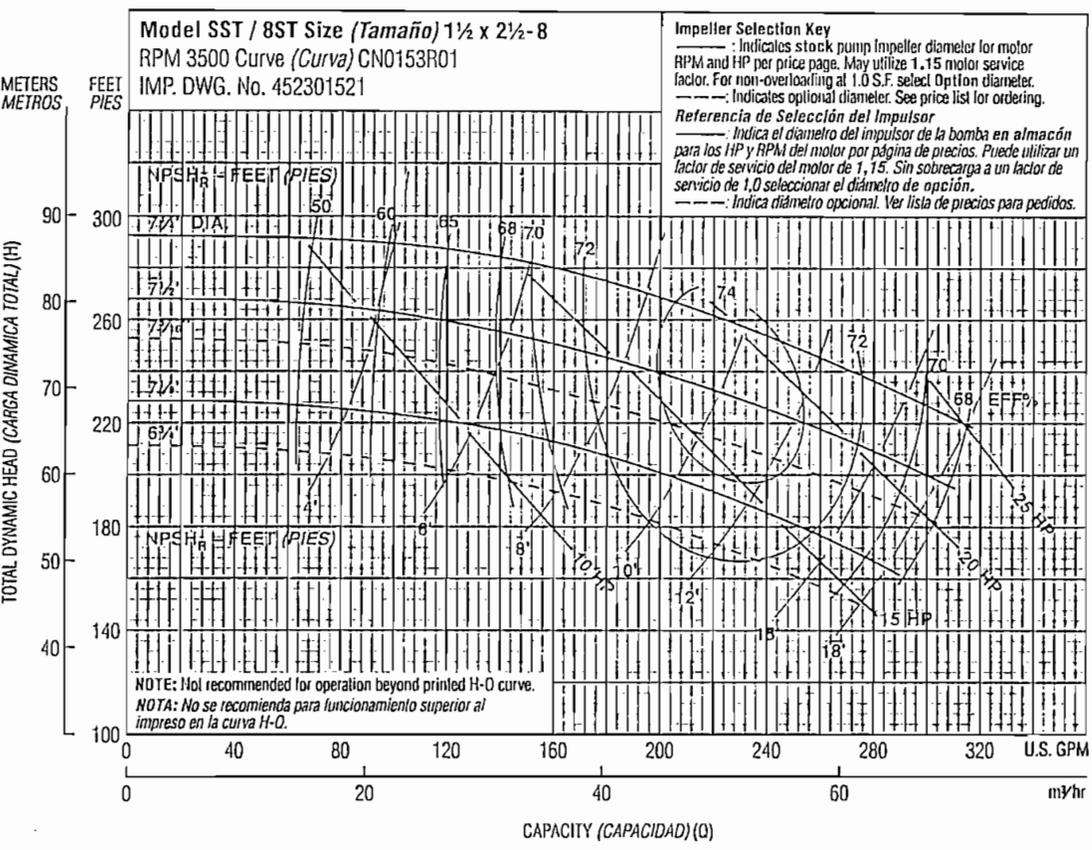
— Disposición típica de una unidad de granja con sistema de riego de bajo volumen

Performance Curves

Close-Coupled or Frame-Mounted Centrifugal Pumps



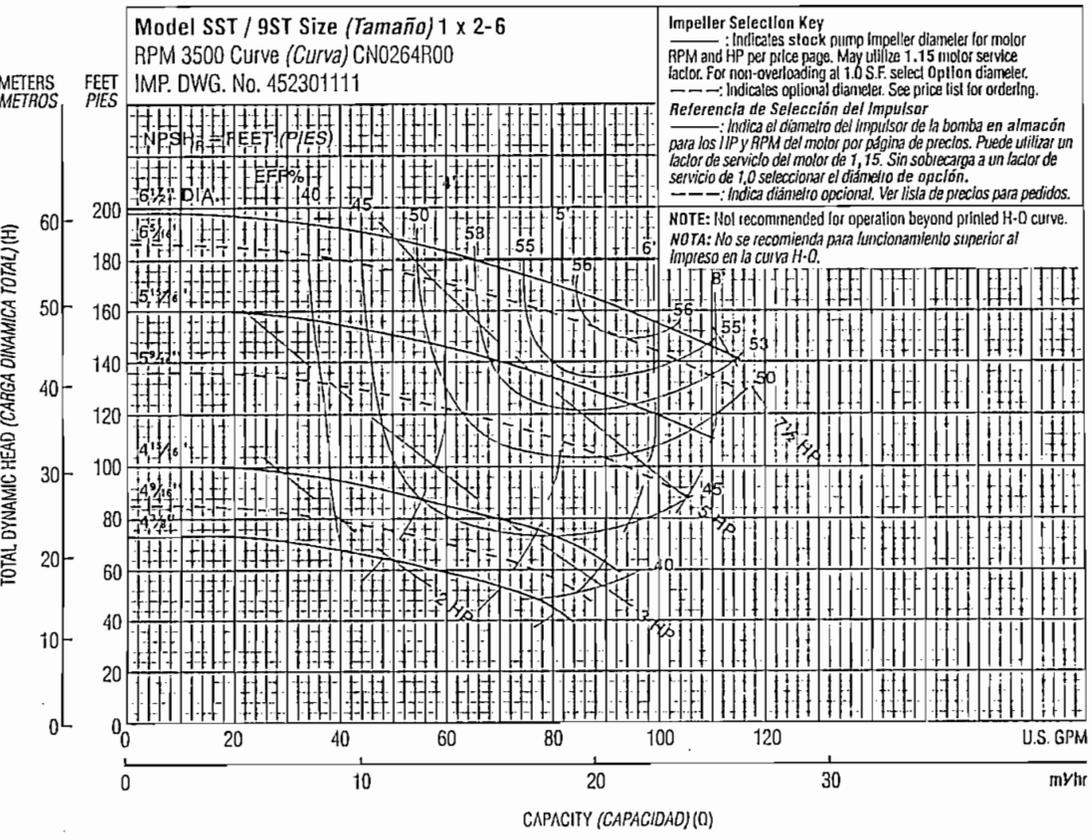
Performance Curves – 60 Hz, 3500 RPM
Curvas de Funcionamiento – 60 Hz, 3500 RPM



Optional Impeller, Impulsor Opcional

Motor HP, HP del motor		Dia.
ODP	TEFC	
25	25	7¾"
20	20	7½"
20	20	7½ ¹⁶ "
15	15	7¼"
15	15	6¾"

NOTE: Pump will pass a sphere to 7/16" diameter.
NOTA: La bomba pasará una esfera a 7/16" diámetro.

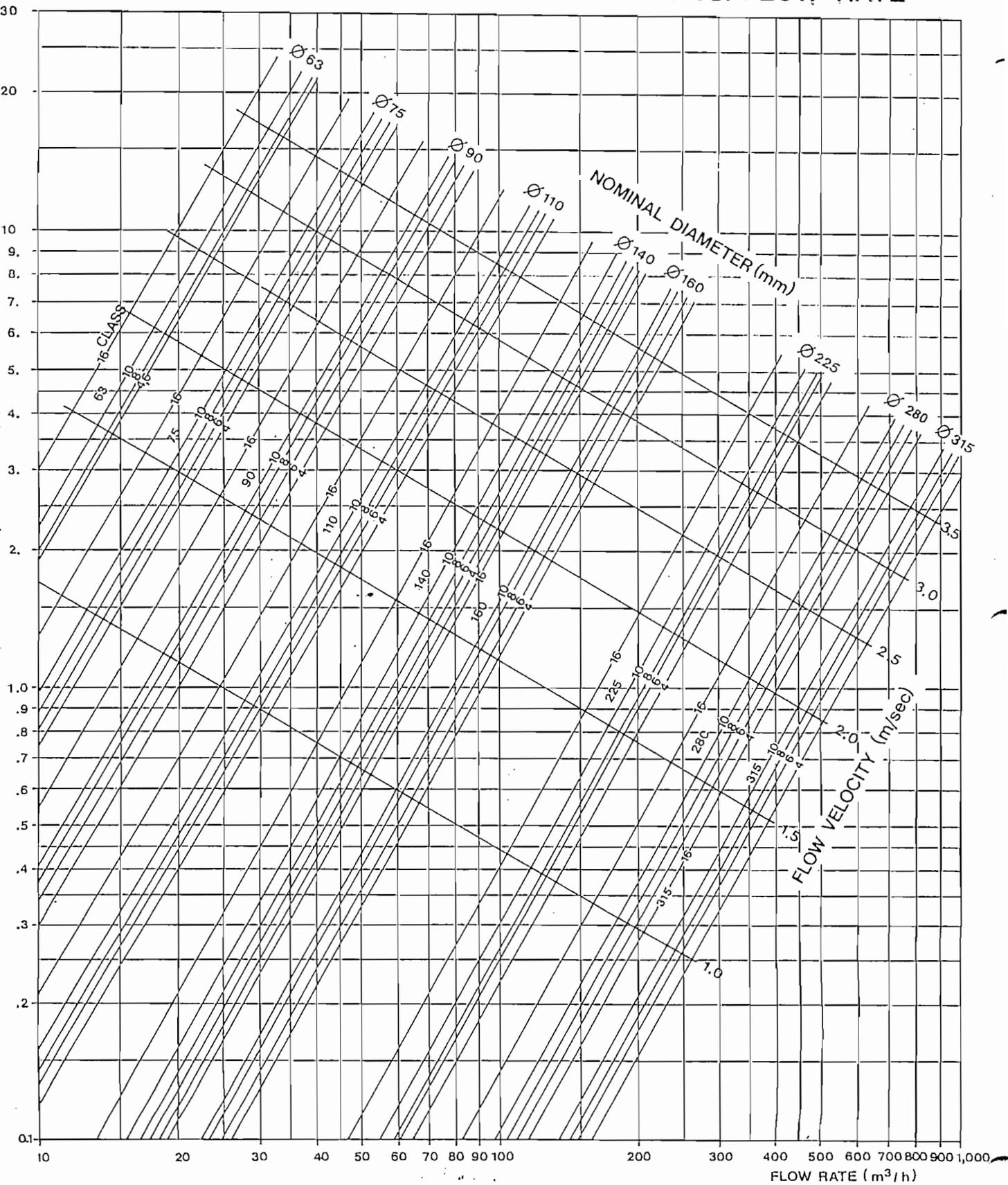


Optional Impeller, Impulsor Opcional

Motor HP, HP del motor		Dia.
ODP	TEFC	
7½	7½	6½"
7½	7½	6½ ¹⁶ "
5	5	5½ ¹⁶ "
5	5	5½ ¹⁶ "
3	3	4½ ¹⁶ "
3	3	4½ ¹⁶ "
2	2	4¾"

NOTE: Pump will pass a sphere to 7/32" diameter.
NOTA: La bomba pasará una esfera a 7/32" diámetro.

PVC PIPES: HEAD LOSS AND FLOW VELOCITY VS. FLOW RATE



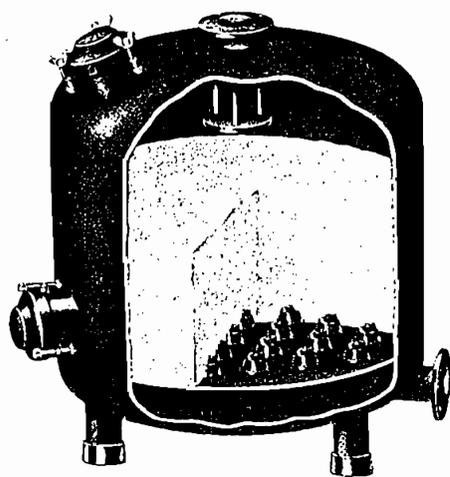
filtros ambientales

- Filtros ambientales y multiambientales de lecho profundo para fines de filtrado y tratamiento de agua.
- Resistente a la corrosión. Pretratado con fosfatos, revestimiento de poliéster.
- Un diseño avanzado permite la perfecta distribución del agua durante el filtrado y el retrolavado.
- Amplia gama de tipos y tamaños de vasijas permite su adaptabilidad a muchas aplicaciones de filtración.
- Soluciones completas de filtrado. Diseño a pedido, sistemas manuales o automáticos de retrolavado, dotado de múltiples, válvulas y dispositivos de control.
- Para ser usados con diferentes tipos de lecho: grava, arena, antracita, carbón activo, etc.

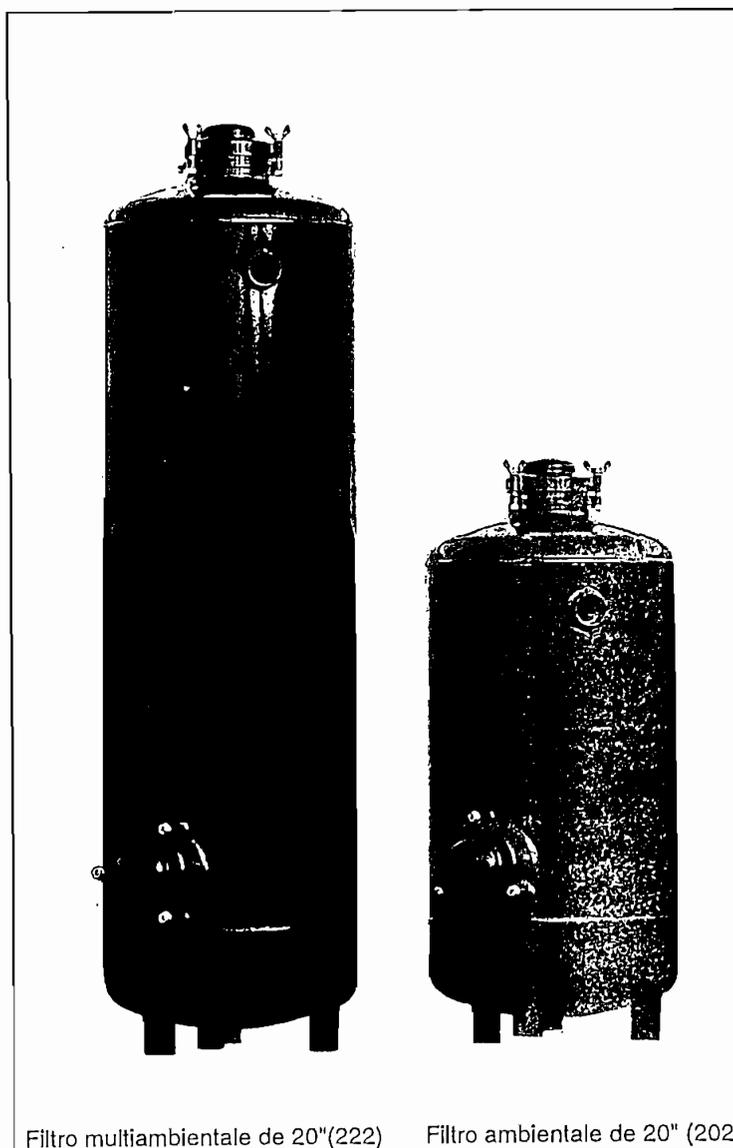
Tamaño nominal	1 1/2"/16"	2"/20"		3"/30"		3"/36"		4"/48"	
Número de Catálogo	162	202	222	303	323	363	383	484	494
Diám. de la vasija [mm]	400	500	500	750	750	900	900	1200	1200
Entrada / Salida [mm]	50	50	50	80	80	80	80	100	100
Profundidad del lecho [mm]	500	500	1000	400	1000	400	1000	400	1000
Profundidad del lecho Flujo por velocidad [m ³ /h]	- 18 [m/h]	-	2 - 3.5	4.5 - 8	7 - 12	12 - 20			
	20 - 35 [m/h]	-	4 - 7	9 - 16	13 - 22	22 - 38			
	40 - [m/h]	6 - 10	8 - 18	17 - 35	26 - 50	45 - 90			

Presión máxima de operación: 10 bar

Presión de prueba: 16 bar

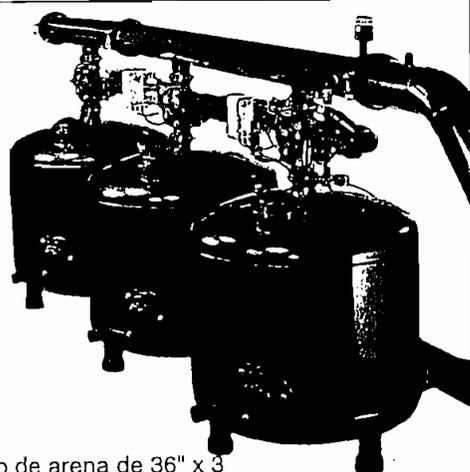


Filtro de arena de 30"



Filtro multiambientale de 20"(222)

Filtro ambientale de 20" (202)



Filtro de arena de 36" x 3

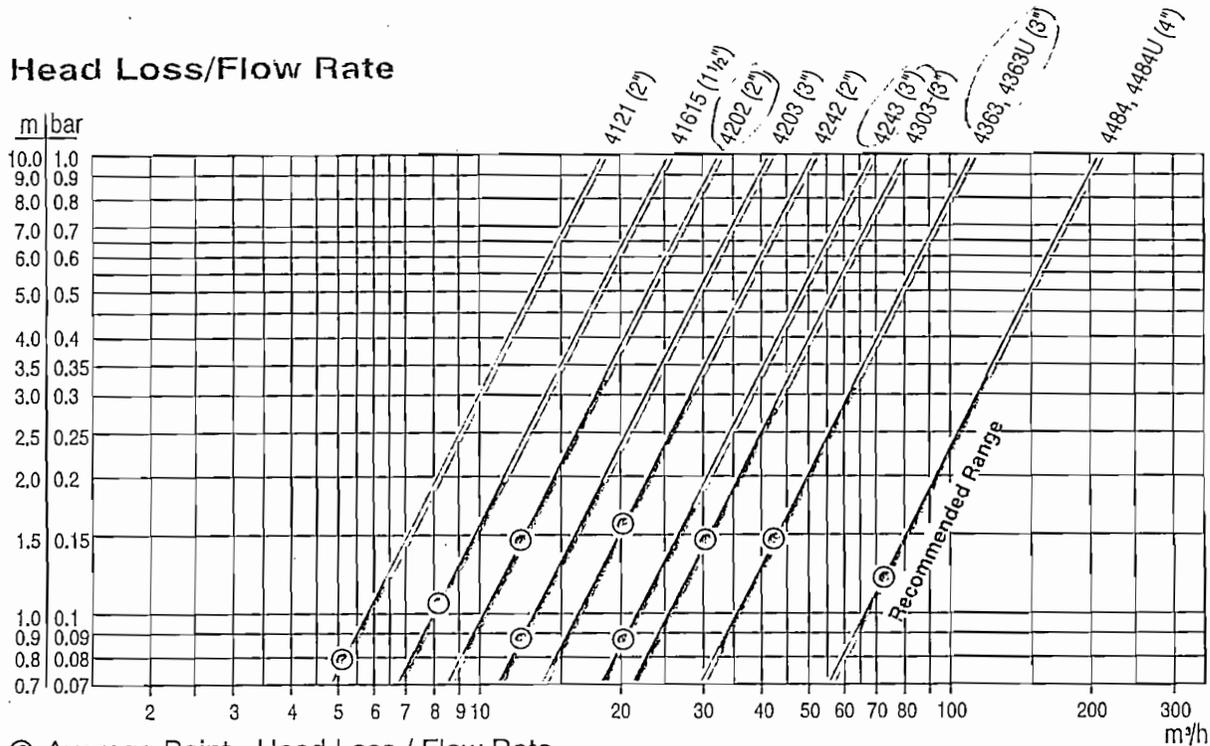
Metric Units

Head Loss

Model	Flow Rate Q (m ³ / h)												
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70
	Head Loss dP (bar)												
4121 (1")	0.08	0.31	0.69	1.23									
41615 (1½")	0.04	0.16	0.36	0.64	1.00	1.44							
4202 (2")		0.10	0.22	0.39	0.61	0.88	1.20						
4203 (3")		0.06	0.13	0.24	0.37	0.54	0.73	0.95	1.20	1.49			
4242 (2")		0.04	0.09	0.15	0.24	0.35	0.47	0.62	0.78	0.96	1.16		
4243 (3")				0.09	0.14	0.19	0.26	0.35	0.44	0.54	0.65	0.78	1.06

Model	Flow Rate Q (m ³ / h)															
	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90	100	110	120	140	160
	Head Loss dP (bar)															
4303 (3")	0.10	0.14	0.19	0.25	0.32	0.39	0.47	0.56	0.77	1.00	1.27					
4363 (3")			0.10	0.13	0.16	0.20	0.24	0.29	0.39	0.51	0.65	0.80	0.96	1.15		
4484 (4")								0.08	0.11	0.15	0.18	0.23	0.27	0.33	0.44	0.58
4363U (3")			0.10	0.13	0.16	0.20	0.24	0.29	0.39	0.51	0.65	0.80	0.96	1.15		
4484U (4")								0.08	0.11	0.15	0.18	0.23	0.27	0.33	0.44	0.58

Head Loss/Flow Rate



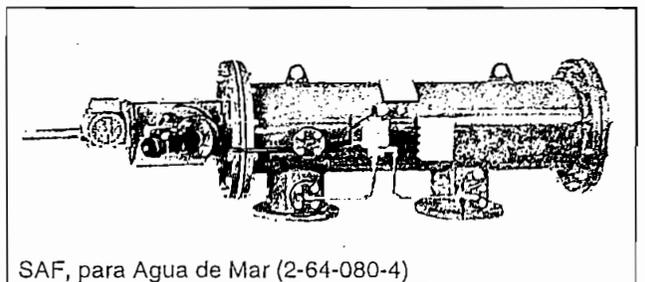
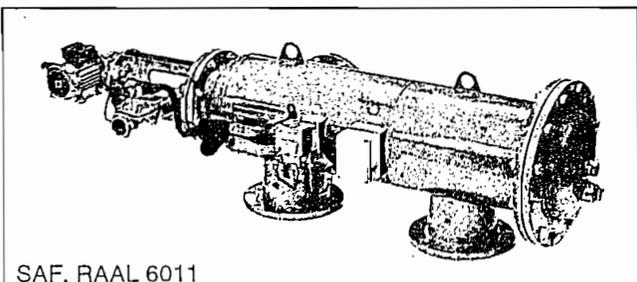
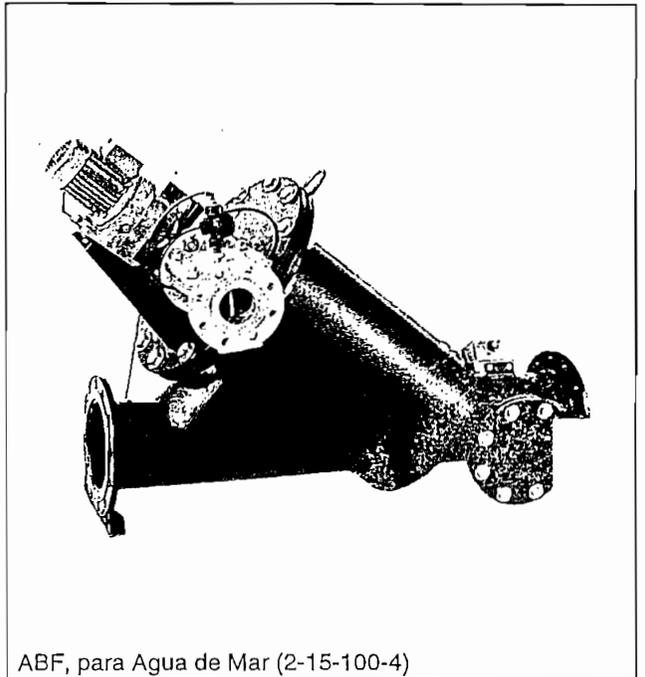
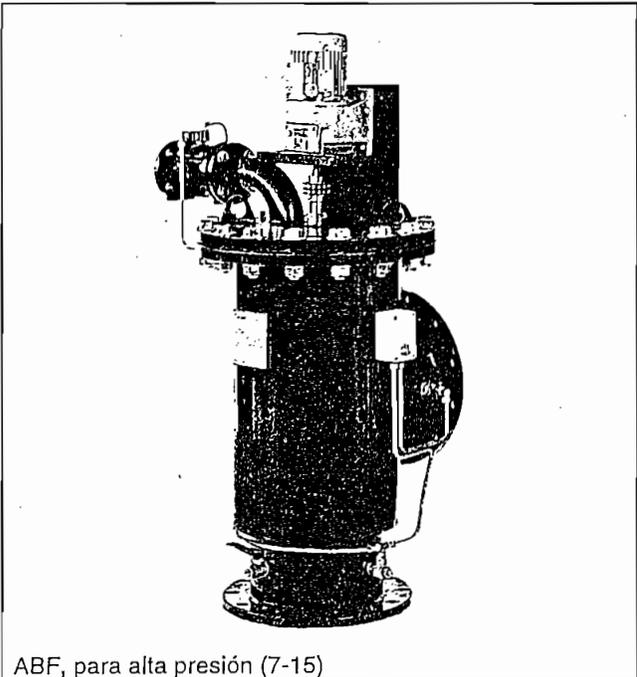
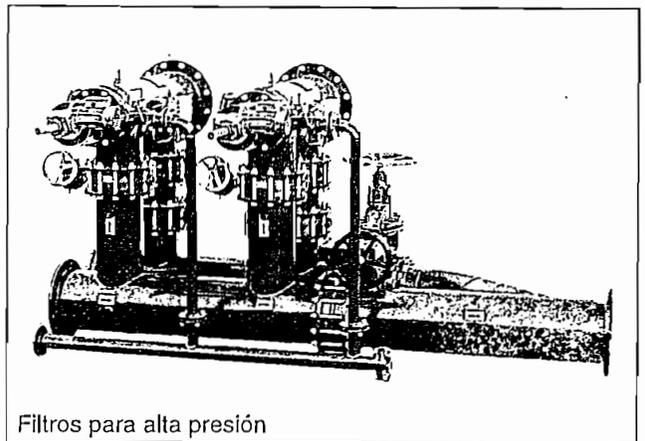
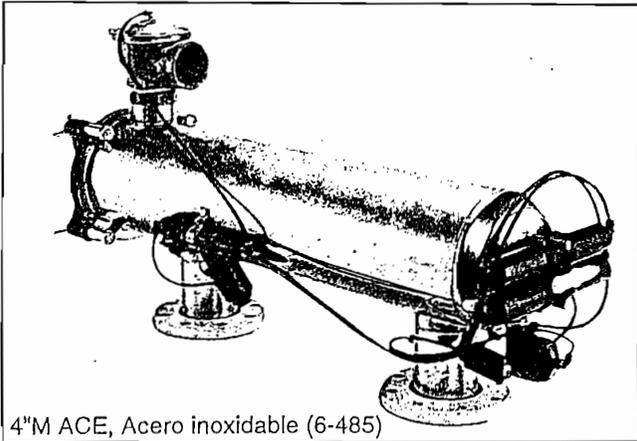
⊙ Average Point - Head Loss / Flow Rate

■ 1 bar=100 kPa=1.02 kg/cm²=10.2 m (W.C)=14.5 psi

unidades de filtrado a pedido especial

Amiad ofrece una amplia gama de opciones que permitan conseguir soluciones específicas de filtrado, ya sea de limpieza manual como automática.

- Alojamiento de acero inoxidable, 316L.
- Alojamiento para filtros de alta presión, a partir de una presión funcional de 16 bar.
- Alojamiento de revestimiento de caucho para filtros de agua de mar.
- Revestimientos de color especial según sea indicado, en base al código RAAL para satisfacer requerimientos de proyectos especiales del cliente.
- Amiad ofrece el diseño y la instalación de sistemas completos de filtrado, incluyendo válvulas, múltiples y otros accesorios, recurriendo a una vasta experiencia en la solución de problemas derivados de espacios restringidos, adaptando sus elementos a los sistemas de control del cliente, en concebir y aplicar soluciones del flujo de entrada y salida y en encontrar los medios para facilitar las tareas de mantenimiento.

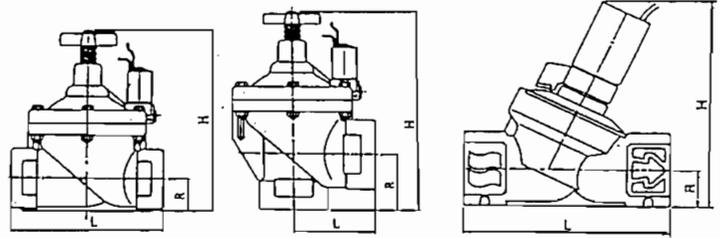


DATOS TECNICOS

Especifications

- **Tipo de Válvula:** oblicuo (y)
- **Tamaños:** 3/4", 1", 1 1/2", 2"
- **Conexión:** rosca hembra, NPT/BSPT
- **Evaluación de Presión:**
 - ISO NP 10
 - ANSI Clase 125
- **Margen de Presión de Fucionamiento**
0.7 a 10 kg/cm² (10-150 psi)
- **Margen de Temperatura:** Agua hasta 80°C (180°F)
- **Datos Eléctricos:**
 - **Standard:**
 - Voltaje:** 24V AC (50-60Hz)
 - Corriente de retención:** 0.20A
 - Corriente de entrada:** 0.40A
 - **Voltajes Opcionales:** 6V DC, 12V DC, 24V DC, 12V AC, 24V AC, 120V AC, 240V AC
- **Materiales:**
 - Cuerpo y tapa: Nylon reforzado
 - Partes metálicas: Acero inoxidable
 - Diafragma: Goma natural
 - Juntas: Buna-N y NR

Dimensiones y Pesos



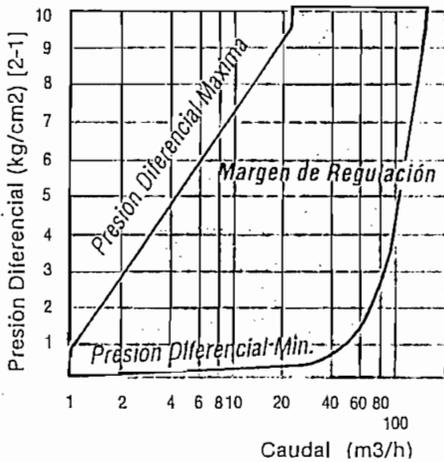
Tipo Globo

Tipo Angular

Tipo Oblicuo

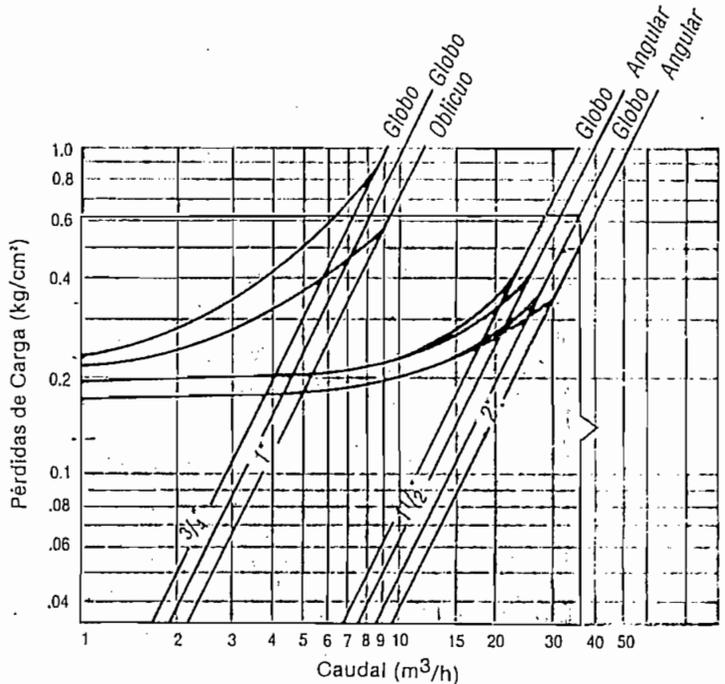
Tamaño	3/4"	1"	1 1/2"	2"	1 1/2"	2"	1"
L (mm)	110	110	160	170	80	85	114
H (mm)	115	115	180	190	190	210	115
R (mm)	22	22	35	38	40	60	21
Ancho (mm)	78	78	125	125	125	125	68
Peso (kg)	0.35	0.33	1.0	1.1	0.95	0.91	0.30

Curva de Regulación



Para tamaños 1 1/2" y 2" solamente

Gráfico de Pérdidas de Carga

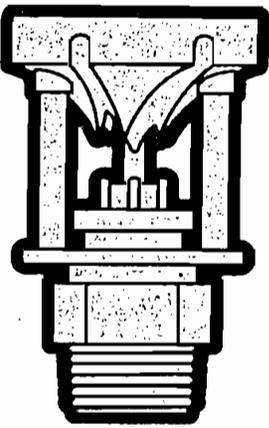


Líneas rectas — válvula abierta al máximo
Líneas curvas — válvulas eléctricas

FEET/ROLL		4 MIL			8 MIL			10 MIL			15 MIL		
		1000	7500	15,000	1000	4000	8000	1000	3000	6000	1000	2000	4000
OUTLET SPACING	FLOW GPM/100'	TURBULENT TWIN WALL MODEL NUMBERS											
2"	1.5	NA	NA	NA	NA	NA	NA	74-0150	74-2150	74-5150	75-0150	75-1150	75-3150
4"	1.0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	74-0100	74-2100	74-5100	75-0100	75-1100	75-3100
9"	0.50	72-0050	72-4050	72-9050	73-0050	73-3050	73-7050	74-0050	74-2050	74-5050	75-0050	75-1050	75-3050
9"	0.65	72-0065	72-4065	72-9065	73-0065	73-3065	73-7065	74-0065	74-2065	74-5065	NA	NA	NA
12"	0.25	72-0025	72-4025	72-9025	73-0025	73-3025	73-7025	NA	NA	NA	NA	NA	NA
12"	0.30	72-0031	72-4031	72-9031	73-0030	73-3030	73-7030	74-0030	74-2030	74-5030	75-0030	75-1030	75-3030

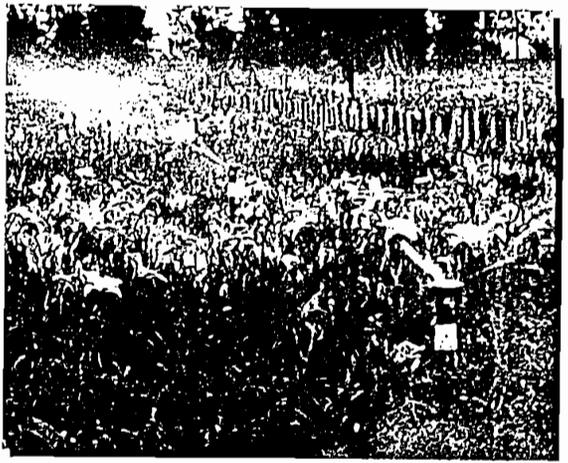
FEET/ROLL		8 MIL			10 MIL			15 MIL			20 MIL			25 MIL		
		1000	4000	8000	1000	3000	6000	1000	2000	4000	1000	1500	3000	1000	2500	
OUTLET SPACING	FLOW GPM/100'	CANE TURBULENT MODEL NUMBERS														
12"	0.25	NA	NA	NA	74-0026	74-2026	74-5026	76-0025	76-1025	76-3025	77-0025	77-1025	77-2025	78-0025	78-2025	
12"	0.30	73-0034	73-3034	73-7034	74-0034	74-2034	74-5034	76-0031	76-1031	76-3031	NA	77-1031	77-2031	78-0031	78-2031	
12"	0.50	73-0053	73-3053	73-7053	74-0051	74-2051	74-5051	75-0052	75-1052	75-3052	NA	77-1051	77-2051	78-0050	78-2050	
18"	0.40	NA	NA	NA	74-0042	74-2042	74-5042	76-0040	76-1040	76-3040	NA	NA	NA	NA	NA	
24"	0.30	73-0036	73-3036	73-7036	NA	NA	NA	76-0030	76-1030	76-3030	NA	77-1030	77-2030	78-0030	78-2030	
24"	0.50	NA	NA	NA	NA	NA	NA	75-0051	75-1051	75-3051	NA	NA	NA	NA	NA	

Figure 2.12. Drip Tape Selection Chart (continued)



Wobbler

- Extremely uniform coverage over a large diameter
- Standard-angle and Low-angle models available
- Pipe thread: 1/2" or 3/4" NPT
- Flow rates: 0.06 to 0.88 L/s



The Wobbler produces larger droplets which resist wind drift.

Wobbler	Nozzle Pressure (bars)					
	0.75	1	1.5	2	2.5	3
#6 Nozzle - Gold (2.38 mm)						
Flow (L/s)	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10
Diameter at 46 cm riser	11.7	12.6	14.0	14.1	14.1	14.2
#7 Nozzle - Lime (2.78 mm)						
Flow (L/s)	0.07	0.08	0.10	0.12	0.13	0.14
Diameter at 46 cm riser	12.3	13.1	14.4	14.5	14.6	14.7
#8 Nozzle - Lavender (3.18 mm)						
Flow (L/s)	0.09	0.11	0.13	0.15	0.17	0.19
Diameter at 46 cm riser	12.8	13.9	14.7	14.9	15.0	15.1
#9 Nozzle - Grey (3.57 mm)						
Flow (L/s)	0.12	0.14	0.17	0.20	0.22	0.24
Diameter at 46 cm riser	13.1	14.1	15.0	15.1	15.2	15.3
#10 Nozzle - Turquoise (3.97 mm) **						
Flow (L/s)	0.15	0.17	0.21	0.24	0.27	0.30
Diameter at 46 cm riser	13.3	14.3	15.1	15.3	15.5	15.6
#11 Nozzle - Yellow (4.37 mm)						
Flow (L/s)	0.18	0.20	0.25	0.29	0.32	0.36
Diameter at 46 cm riser	13.5	14.6	15.3	15.5	15.6	15.8
#12 Nozzle - Red (4.76 mm)						
Flow (L/s)	0.21	0.24	0.30	0.34	0.38	0.42
Diameter at 46 cm riser	13.7	14.7	15.5	15.7	15.8	15.8
#13 Nozzle - White (5.16 mm)						
Flow (L/s)	0.25	0.28	0.35	0.40	0.44	0.49
Diameter at 46 cm riser	13.9	14.9	15.6	15.8	15.9	16.0
#14 Nozzle - Blue (5.56 mm)						
Flow (L/s)	0.28	0.32	0.40	0.46	0.51	0.56
Diameter at 46 cm riser	14.1	15.0	15.7	15.9	16.0	16.1
#15 Nozzle - Dark Brown (5.95 mm)						
Flow (L/s)	0.33	0.38	0.46	0.53	0.59	0.65
Diameter at 46 cm riser	14.2	15.1	15.8	16.0	16.1	16.2
#16 Nozzle - Orange (6.35 mm)						
Flow (L/s)	0.37	0.42	0.52	0.60	0.66	0.73
Diameter at 46 cm riser	14.3	15.2	15.9	16.1	16.2	16.3
#17 Nozzle - Dark Green (6.75 mm)						
Flow (L/s)	0.41	0.47	0.58	0.67	0.75	0.82
Diameter at 46 cm riser	14.4	15.3	16.0	16.2	16.2	16.3
#18 Nozzle - Purple (7.14 mm)						
Flow (L/s)	0.46	0.53	0.65	0.75	0.83	0.92
Diameter at 46 cm riser	14.4	15.3	16.1	16.2	16.3	16.4

DIAMETERS ARE SHOWN IN METERS. Figures reflect actual test data. Production models may show slight variation. **Standard nozzle size. Maximum stream height is 153 cm above nozzle using 3.97 mm (#10) nozzle at 1.5 bars. Sprinkler performance tests were conducted in accordance with the American Society of Agricultural Engineers standard S398.1 and are representative of production at the time of publication.



Low-Angle Wobbler	Nozzle Pressure (bars)			
	0.75	1	1.5	2
#6 Nozzle - Gold (2.38 mm)				
Flow (L/s)	0.05	0.06	0.07	0.08
Diameter at 46 cm riser	9.00	9.70	10.7	11.0
#7 Nozzle - Lime (2.78 mm)				
Flow (L/s)	0.07	0.08	0.10	0.12
Diameter at 46 cm riser	9.40	10.0	11.0	11.3
#8 Nozzle - Lavender (3.18 mm)				
Flow (L/s)	0.09	0.11	0.13	0.15
Diameter at 46 cm riser	9.90	10.3	11.2	11.6
#9 Nozzle - Grey (3.57 mm)				
Flow (L/s)	0.12	0.14	0.17	0.20
Diameter at 46 cm riser	10.2	10.6	11.5	11.8
#10 Nozzle - Turquoise (3.97 mm) *				
Flow (L/s)	0.15	0.17	0.21	0.24
Diameter at 46 cm riser	10.5	10.9	11.7	12.1
#11 Nozzle - Yellow (4.37 mm)				
Flow (L/s)	0.18	0.20	0.25	0.29
Diameter at 46 cm riser	10.5	11.1	12.0	12.4
#12 Nozzle - Red (4.76 mm)				
Flow (L/s)	0.21	0.24	0.30	0.34
Diameter at 46 cm riser	10.6	11.3	12.3	12.8
#13 Nozzle - White (5.16 mm)				
Flow (L/s)	0.25	0.28	0.35	0.40
Diameter at 46 cm riser	10.9	11.6	12.6	13.1
#14 Nozzle - Blue (5.56 mm)				
Flow (L/s)	0.28	0.32	0.40	0.46
Diameter at 46 cm riser	11.1	11.8	12.9	13.4
#15 Nozzle - Dark Brown (5.95 mm)				
Flow (L/s)	0.33	0.38	0.46	0.53
Diameter at 46 cm riser	11.4	12.1	13.1	13.5
#16 Nozzle - Orange (6.35 mm)				
Flow (L/s)	0.37	0.42	0.52	0.60
Diameter at 46 cm riser	11.7	12.3	13.2	13.7
#17 Nozzle - Dark Green (6.75 mm)				
Flow (L/s)	0.41	0.47	0.58	0.67
Diameter at 46 cm riser	12.0	12.5	13.4	13.8
#18 Nozzle - Purple (7.14 mm)				
Flow (L/s)	0.46	0.53	0.65	0.75
Diameter at 46 cm riser	12.3	12.8	13.5	14.0

DIAMETERS ARE SHOWN IN METERS. Figures reflect actual test data. Production models may show slight variation. *Standard nozzle size. Maximum stream height is 76 cm above nozzle using 3.97 mm (#10) nozzle at 1.5 bars.

NOTE: With the Wobbler and Low-Angle Wobbler care must be taken to stabilize riser for optimum performance.

Introducción.-

El programa en lenguaje LabView que se ha desarrollado para esta tesis de grado, tiene por objeto el controlar un prototipo con varios componentes que simulan elementos de un sistema de riego en el campo, al igual que controlar dos elementos reales como son una válvula solenoide y una bomba eléctrica. Además permite tomar datos desde el prototipo por elementos simuladores y también datos por un elemento real que es el sensor de humedad relativa.

Elementos del Equipo.-

El equipo simulador tiene alimentación de 110 voltios de corriente alterna, lo cual permite activar transformadores que convierten este voltaje a 12 voltios de corriente continua que se necesitan para polarizar los elementos y activar el sensor de humedad.

En su panel frontal, dispone de los siguientes elementos:

- Leds de color amarillo para simular el funcionamiento de las válvulas solenoides.
- Leds de color verde para simular las bombas eléctricas.

- Leds de color rojo para simular el funcionamiento de los sublimadores.
- Elementos conectores blancos para el funcionamiento de una válvula solenoide real exterior al equipo de simulación.
- Elementos conectores negros para el funcionamiento de una bomba eléctrica real exterior al equipo de simulación.
- Siete potenciómetros los cuales simulan el aumento de la humedad relativa en el campo.
- Un potenciómetro que simula el caudal de riego que se entrega hacia el campo desde la caseta de bombeo.
- Conector coaxial para el sensor de humedad relativa real exterior.
- Siete Swiches que permiten el escoger entre simular la humedad relativa por medio del potenciómetro o tener el dato de humedad relativa real desde el sensor exterior.

Además en el costado izquierdo del equipo se dispone de cuatro conectores azules perfectamente marcados, dos para la válvula solenoide exterior y dos para la bomba eléctrica exterior. En el costado hacia el frente del equipo se tiene dos conectores azules claramente marcados, el uno que permite conectar la válvula solenoide exterior a cualquiera de los conectores blancos del panel frontal y así verificar el funcionamiento de los mismos, y otro conector de similar función pero este para la bomba eléctrica teniendo conexión con los tres conectores negros en el panel frontal del equipo.

El equipo además está provisto de tres cables planos de 34 hilos con conectores para la tarjeta de adquisición de datos DAS-128.

Funcionamiento del equipo.-

Se conectan los cables planos por la parte posterior del computador a los postes de los jumpers J-2, J-3 y J-4 de la tarjeta DAS-128, los cables vienen perfectamente identificados para su conexión. Se conecta a la fuente de voltaje de 110 voltios corriente alterna.

Cuando el programa se encuentra en ejecución, y como se verá posteriormente, en la pantalla se dispone de elementos de control que permiten dar datos como tiempo de riego, cantidad de humedad requerida, elementos a funcionar y otros, mientras que en el equipo de simulación se actúa sobre los potenciómetros simuladores de humedad, los switches que permiten escoger entre el potenciómetro o el sensor de humedad real, el potenciómetro que simula el caudal de operación, y se puede escoger la ubicación tanto de la válvula solenoide real como de la bomba eléctrica real y exteriores al equipo, así, el potenciómetro incrementará su valor si se lo mueve en sentido contrario al de las agujas del reloj, mientras que reducirá su valor si se lo mueve en sentido de las agujas del reloj. El switch tiene dos posiciones, si se lo mueve en el sentido de los potenciómetros, son estos los que darían el dato de la

humedad relativa al computador, mientras que si se lo mueve en sentido opuesto a los potenciómetros, se estaría tomando el dato del sensor de humedad real.

El equipo permite, además verificar el funcionamiento de las válvulas solenoides y bomba eléctrica reales exteriores al equipo, por medio de los conectores frontales y los que se encuentran en el panel frontal del equipo.

Un funcionamiento típico del equipo es el siguiente:

Una vez que se ha conectado los cables planos a la tarjeta DAS-128, se ha energizado el equipo, se ha conectado la válvula solenoide exterior y la bomba eléctrica exterior, y se ha conectado el sensor de humedad real, se llama al programa y se lo hace ejecutar, con lo cual en la pantalla del computador se ingresarán los parámetros que son necesarios utilizando el mouse del computador como se verá posteriormente, se decide que elementos simularán la humedad utilizando el potenciómetro y cual lo hará utilizando el sensor de humedad real, según esto se escoge la posición de los switches.

Una vez que se ha iniciado una función escogida, se incrementará el valor del potenciómetro que simula el caudal de funcionamiento, hasta un valor de entre 50 y 190 Galones por minuto, ya que valores fuera de ese rango, permiten detectar falla ya sea por falta de caudal, o por exceso del mismo. Se escoge que conector del panel frontal hará que opere la válvula solenoide real, y que conector hará que actúe la bomba eléctrica. En este punto se incrementa el valor de la humedad

relativa usando el potenciómetro en el sentido contrario a las agujas del reloj. Si la función que se está realizando, está supeditada al tiempo transcurrido, una vez que este se cumpla los elementos que se encontraban funcionando en el equipo se apagarán y en la pantalla se verá el mensaje respectivo, mientras que si la función que se encuentra realizándose, tiene relación con la humedad del campo, los elementos del equipo se encontrarán funcionando hasta que utilizando los potenciómetros, o el sensor de humedad real den el dato requerido, con lo cual los elementos se apagarán según sea el caso.

El potenciómetro que simula el caudal que la estación de bombeo estaría generando hacia el campo, permite simular falla tanto por obturación en tuberías o líneas de goteros o conectores de microaspersión, móvil debido al dato de bajo caudal o rotura de tuberías con lo cual se tendría un alto caudal que no es el de diseño.

Características del Programa.-

El ejecutable del programa tiene como nombre BOLOTES.EXE; tiene 12.2 Megabytes de extensión, y para instalarlo, sólo es necesario grabar el archivo BOLOTES.EXE dentro de el disco duro del computador a ser usado.

Los requerimientos de este programa son:

- Computador IBM o compatible

- DOS Versión 5.x o mayor
- WINDOWS 3.1 aunque se recomienda al WINDOWS 95
- 16 Megabytes o más de memoria RAM
- Se recomienda una velocidad de 70 Megahertz o más

Para arrancar el programa de automatización para riego localizado en plantación de flores, se ingresa al programa LABView, y se escoge el archivo BOLOTES.EXE, el cual al ser cargado inicia en la pantalla primera del programa.

Cuando arranca el Programa, aparece una primera pantalla que da la opción de escoger entre las diferentes funciones:

- Riego por Goteo
- Riego por Aspersión y/o Goteo
- Retrolavado de Filtros
- Fertilización
- Fumigación
- Funcionamiento de Sublimadores

Para seleccionar la función se ubica el cursor del Mouse sobre **ESCOJA LA FUNCION A REALIZAR ▼** , y con un clic en el botón izquierdo

sobre el icono respectivo se despliegan subpantallas que permiten seleccionar la función deseada. Además, en esta primera pantalla, se tiene la opción de salir del programa,



. Se coloca el cursor del Mouse en el icono y se hace un clic con el botón izquierdo.

Durante la navegación en las subpantallas correspondientes a cada función, se deben ingresar los parámetros de dicha función y luego ejecutarla. Si se desea regresar a la pantalla

PANTALLA



inicial, se lo puede realizar antes de la ejecución de cada función; igualmente, una vez que ha finalizado la misma.

Cuando el sistema se encuentra en funcionamiento, se puede

parar la función en cualquier instante,  a más de que el programa finalizará la operación ya sea por finalización normal, a pedido del operador o por falla en el sistema.

Pantalla Inicial.-

Iconos:

Una vez que se ha cargado el programa, se observa la primera pantalla, en la cual se tiene acceso a los siguientes iconos:

1. Escoger que función se va a realizar, así:

ESCOJA LA FUNCIÓN A REALIZAR ▼

- Riego por Goteo

Del cual se debe escoger entre:

ESCOJA EL TIPO DE GOTEO A REALIZAR ▼

- Goteo por Automatización de humedad
- Goteo por Tiempos dados por el operador
- Riego por Aspersión y/o Goteo

Del cual se debe escoger entre:

ESCOJA ENTRE ASPERSION O GOTEO ▼

- Aspersión Exclusiva

Del cual se derivan:

ESCOJA EL TIPO DE ASPERSION A REALIZAR ▼

- Aspersión Automatizada
- Aspersión por Tiempos
- Aspersión y Goteo Combinados

Del cual se derivan:

ESCOJA LA ASPERSION/ GOTEO A REALIZAR ▼

- Aspersión y Goteo Automatizados
- Aspersión y Goteo por Tiempos
- Retrolavado de Filtros
- Fertirrigación

Del cual se debe escoger entre:

ESCOJA EL TIPO DE FERTIRRIGACION ▼

- Fertirrigación por Automatización de humedad
- Fertirrigación por Tiempos dados por el operador
- Fumigación
- Funcionamiento de Sublimadores

Switch de Prueba de Leds



2. Control de Encendido de leds

Salir del programa



3. Control de Fin de Programa

Operación:

- Se selecciona la función que se va a realizar ubicando el cursor del Mouse sobre el icono "Escoja la Función a Realizar" y con un clic en el botón izquierdo se dirige a la pantalla correspondiente para continuar con el proceso.

- El switch de encendido de leds da la opción de ver en la pantalla y en el prototipo que todos los leds estén funcionando normalmente, esto se lo realiza ubicando el cursor del Mouse sobre el icono "Switch de encendido de leds" y se hace clic con el botón izquierdo, los leds se mantendrán encendidos mientras este botón se mantenga oprimido, una vez que se deja de oprimir dicho botón, los leds se apagarán.

- El control de fin de programa da la opción de salir sin realizar ninguna función, esto se hace ubicando el cursor del Mouse sobre el icono de "Salir del Programa" y se realiza un clic en el botón izquierdo.

Pantalla de Goteo por Automatización.-

Iconos:

Luego de que se ha escogido esta función desde la primera pantalla, se tiene acceso a los siguientes iconos:

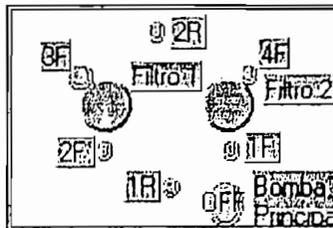
1. Escoger los lotes que se quiere hacer el goteo:

- Se incrementa desde cero hasta el valor de porcentaje de humedad deseado en los lotes, esto se realiza ubicando el cursor del Mouse sobre el icono "Humedad Requerida" y se lo mueve hacia la derecha hasta el valor requerido.

- El control de regreso a la primera pantalla se lo puede utilizar antes de que se ejecute la función caso contrario, este control es invisible, para operarlo se ubica el cursor del Mouse sobre el icono "Pantalla 1" y se realiza un clic con el botón izquierdo esto finaliza la función de goteo y se abre la pantalla 1.

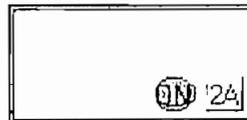
- Una vez que se ha determinado los lotes, se escogió el valor de humedad requerida y se desea continuar la función, se arranca el sistema ubicando el cursor del Mouse sobre el icono "Arranque del Sistema" y se hace un clic con el botón izquierdo iniciándose el funcionamiento de todos los elementos del

sistema de filtración



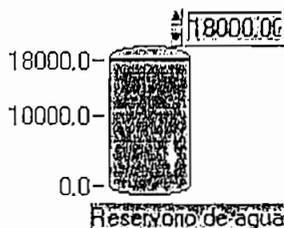
y las correspondientes

válvulas de los lotes escogidos



, se realiza la lectura de los sensores de humedad 15.0 44.84, se incrementa el

tiempo transcurrido 5:32:34 Tiempo transcurrido, y se puede ver el



consumo de agua del reservorio

- Cuando la función de goteo se está realizando el operador tiene opción de finalizarla por medio del control de paro de función, esto se lo realiza ubicando el cursor del Mouse sobre el icono "Stop" y se hace un clic con el botón izquierdo, con lo cual se finaliza el goteo y se da la opción de volver a la misma función, o retornar a la pantalla 1.

- Si se produce falla por caudal, falla por falta de agua, se ha finalizado la función por adquirir la humedad deseada, o si se finalizó por orden del operador, se apagan todos los elementos que estaban funcionando, se imprime un mensaje con el motivo del paro, se finaliza dicha función y se observa nuevamente el control de regreso a la primera pantalla.

Estado de Funcionamiento

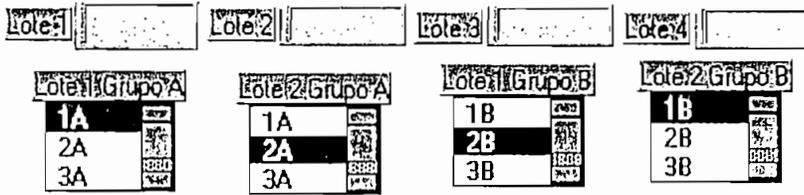


Pantalla de Goteo por Tiempos.-

Iconos:

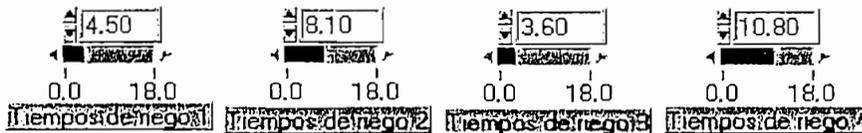
Luego de que se ha escogido esta función desde la primera pantalla, se tiene acceso a los siguientes iconos:

1. Escoger los lotes que se quiere hacer el goteo:



- Lote 1 del Bloque A
- Lote 2 del Bloque A
- Lote 1 del Bloque B
- Lote 2 del Bloque B

2. Escoger los tiempos que se quiere realizar el goteo:



- Tiempo de riego 1 Lote 1 Bloque A
- Tiempo de riego 2 Lote 2 Bloque A
- Tiempo de riego 3 Lote 1 Bloque B
- Tiempo de riego 4 Lote 2 Bloque B



3. Control de Regreso a la Primera Pantalla

Arranque del Sistema

4. Control de Arranque de Función



5. Control de Paro de función



Operación:

- Se escoge los lotes que se va ha hacer el goteo, esto se lo realiza ubicando el cursor del Mouse sobre el número de lote

deseado y se hace un clic con el botón izquierdo, hay que tener en cuenta que se pueden tener dos lotes por bloque y que no se puede repetir el lote escogido.

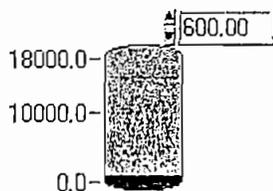
- Se aumenta desde cero el tiempo que se quiere regar cada lote en minutos, esto se lo realiza ubicando el cursor del Mouse sobre el icono "Tiempo de riego 1 (2, 3, 4)" y sosteniendo oprimido el botón izquierdo, se lo mueve hacia la derecha hasta el valor deseado.

- El control de regreso a la primera pantalla se lo puede utilizar antes de que se ejecute la función caso contrario, este control es invisible, para regresar a la primera pantalla se ubica el cursor del Mouse sobre el icono "Pantalla 1" y se hace un clic con el botón izquierdo.

- Una vez que se ha determinado los lotes, se tiene dado los tiempos que se quiere regar cada lote y se desea continuar la función, se ejecuta el sistema ubicando el cursor del Mouse sobre el icono "Arranque del Sistema" y se hace un clic en el botón izquierdo, iniciándose el funcionamiento de todos los elementos del sistema de filtrado, y las válvulas escogidas.

- Cuando la función de goteo se está realizando el operador tiene opción de finalizarla por medio del control de paro de función ubicando el cursor del Mouse sobre el icono "Stop" y se hace clic con el botón izquierdo.

- Si se produce falla por caudal 220. Caudal en GPM, falla por



falta de agua Reservorio de agua, se ha finalizado la función por llegar al tiempo dado por el operador, o si se finalizó por orden del operador, se apagan todos los elementos que estaban funcionando, se imprime un mensaje con el motivo del paro

Estado de Funcionamiento

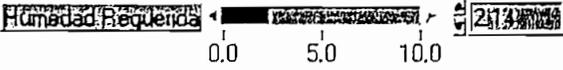
Finalizo el Goteo
por falta de
AGUA

, se finaliza dicha función y se observa nuevamente el control de regreso a la primera pantalla.

Pantalla de Aspersión por Automatización.-

Iconos:

Luego de que se ha escogido esta función desde la primera pantalla, se tiene acceso a los siguientes controles:

1. Control de humedad requerida Humedad Requerida 

PANTALLA1



2. Control de Regreso a la Primera Pantalla

Arranque del Sistema



3. Control de Arranque de Función



4. Control de Paro de función

Operación:

- Se incrementa desde cero el dato de humedad que se requiere en los lotes hasta el valor deseado en porcentaje ubicando el cursor del Mouse sobre el icono "Humedad Requerida" y oprimiendo el botón se recorre hacia la derecha hasta el valor deseado.

- El control de regreso a la primera pantalla se lo puede utilizar antes de que se ejecute la función caso contrario, este control es invisible, se lo opera ubicando el cursor del Mouse sobre el icono "Pantalla 1" y se hace clic con el botón izquierdo.

- Una vez que se ha dado el dato de humedad requerida, y se desea continuar la función, se ejecuta el sistema ubicando el cursor del Mouse sobre el icono "Arranque del Sistema" y se hace un clic con el botón izquierdo, iniciando el funcionamiento de todos los elementos del sistema de filtrado.

- Cuando la función de aspersión se está realizando el operador tiene opción de finalizarla por medio del control de

paro de función ubicando el cursor del Mouse sobre el icono "Stop" y haciendo un clic en el botón izquierdo.

- Si se produce falla por caudal , falla por falta de agua, se ha finalizado la función por adquirir la humedad deseada, o si se finalizó por orden del operador, se apagan todos los elementos que estaban funcionando, se imprime

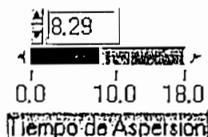
un mensaje con el motivo del paro  , se finaliza dicha función y se observa nuevamente el control de regreso a la primera pantalla.

Pantalla de Aspersión por Tiempos.-

Iconos:

Luego de que se ha escogido esta función desde la primera pantalla, se tiene acceso a los siguientes iconos:

1. Escoger el tiempo que se quiere realizar la aspersion



PANTALLA



2. Control de Regreso a la Primera Pantalla

3. Control de Arranque de Función



4. Control de Paro de función



Operación:

- Se aumenta desde cero el tiempo que se quiere regar en minutos ubicando el cursor del Mouse sobre el icono "Tiempo de Aspersión" y sosteniendo el botón izquierdo oprimido se recorre hacia la derecha hasta el valor deseado.

- El control de regreso a la primera pantalla se lo puede utilizar antes de que se ejecute la función caso contrario, este control es invisible se lo opera ubicando el cursor del Mouse sobre el icono "Pantalla 1" y haciendo un clic en el botón izquierdo.

- Una vez que se ha dado el tiempo que se quiere regar los bloques y se desca continuar la función, se arranca el sistema ubicando el cursor del Mouse sobre el icono "Arranque del Sistema" y se hace un clic con el botón izquierdo, iniciándose el funcionamiento de todos los elementos del sistema de filtrado.

- Cuando la función de aspersión se está realizando el operador tiene opción de finalizarla por medio del control de paro de función  esto se lo realiza ubicando el cursor del Mouse sobre dicho icono y se hace un clic con el botón izquierdo.

- Si se produce falla por caudal, falla por falta de agua, se ha finalizado la función por llegar al tiempo dado por el operador, o si se finalizó por orden del operador  , se apagan todos los elementos que estaban funcionando, se imprime

un mensaje con el motivo del paro   , se finaliza dicha función y se observa nuevamente el control de regreso a la primera pantalla.

Pantalla de Aspersión y Goteo por Automatización.-

Iconos:

Luego de que se ha escogido esta función desde la primera pantalla, se tiene acceso a los siguientes controles:

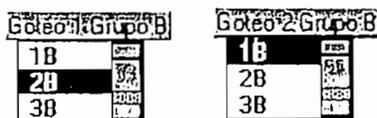
1. Escoger el bloque que se quiere realizar la aspersión:



- Bloque A
- Bloque B

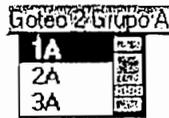
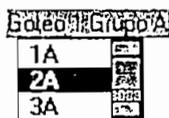
2. Escoger los lotes del bloque que se quiere hacer el goteo

Si se escogió anteriormente el Bloque A:



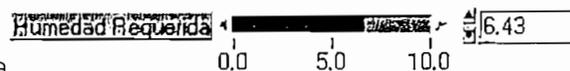
- Lote 1 Bloque B
- Lote 2 Bloque B

Si se escogió anteriormente el Bloque B:



- Lote 1 Bloque A
- Lote 2 Bloque A

3. Control de humedad requerida



4. Control de Regreso a la Primera Pantalla



5. Control de Arranque de Función



6. Control de Paro de función



Operación:

- Se escoge que bloque se desea hacer aspersión ubicando el cursor del Mouse sobre el icono "Escoja Bloque de Aspersión" y se hace un clic en el botón izquierdo, luego de lo cual se hace visible para escoger los lotes del otro bloque se hará el goteo.

- Se escoge los lotes que se va a hacer el goteo ubicando el cursor del Mouse sobre el lote deseado y haciendo un clic con el botón izquierdo, teniendo en cuenta que se pueden tener dos lotes por bloque y que no se puede repetir el lote escogido.

- Se incrementa desde cero hasta el valor deseado, el dato de humedad que se requiere en los lotes ubicando el cursor del Mouse sobre el icono "Humedad Requerida" y con el botón izquierdo oprimido se lleva hacia la derecha hasta el valor deseado en porcentaje de humedad.

- El control de regreso a la primera pantalla se lo puede utilizar antes de que se arranque la función caso contrario, este control es invisible se lo opera ubicando el cursor del Mouse sobre el icono "Pantalla 1" y se hace un clic con el botón izquierdo.

- Una vez que se ha determinado el bloque a realizar aspersión, los lotes a realizar el goteo, se escogió el valor de humedad requerida y se desea continuar la función, se ejecuta el sistema ubicando el cursor del Mouse sobre el icono "Arranque del Sistema" y se hace un clic con el botón izquierdo, iniciándose el funcionamiento de todos los elementos del sistema de filtración y las correspondientes válvulas de los lotes escogidos para el goteo.

- Cuando la función de aspersión y goteo se está realizando el operador tiene opción de finalizarla por medio del control de paro de función ubicando el cursor del Mouse sobre el icono "Stop" y haciendo un clic con el botón izquierdo.

- Si se produce falla por caudal, falla por falta de agua, se ha finalizado la función por adquirir la humedad deseada, o si se finalizó por orden del operador, se apagan todos los

elementos que estaban funcionando, se imprime un mensaje con el motivo del paro, se finaliza dicha función y se observa nuevamente el control de regreso a la primera pantalla.

Pantalla de Aspersión y Goteo por Tiempos.-

Iconos:

Luego de que se ha escogido esta función desde la primera pantalla, se tiene acceso a los siguientes iconos:

1. Escoger el bloque que se quiere realizar la aspersión:

ESCOJA BLOQUE DE ASPERSION

- Bloque A
- Bloque B

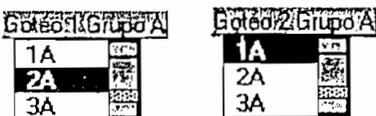
2. Escoger los lotes del bloque que se quiere hacer el goteo

Si se escogió anteriormente el Bloque A:



- Lote 1 Bloque B
- Lote 2 Bloque B

Si se escogió anteriormente el Bloque B:



- Lote 1 Bloque A
- Lote 2 Bloque A

3. Escoger los tiempos que se quiere realizar la aspersion y el



- Tiempo de Aspersión
- Tiempo Lote 1
- Tiempo Lote 2



4. Control de Regreso a la Primera Pantalla

Arranque del Sistema

5. Switch de Arranque de Función



6. Control de Paro de función



Operación:

- Se escoge el bloque que se quiere realizar la aspersion ubicando el cursor del Mouse sobre el icono "Escoja Bloque de Aspersión" y se hace un clic con el botón izquierdo en la posición requerida, luego de lo cual se hace visible y se tiene que escoger los lotes que se va a hacer el goteo ubicando el cursor del Mouse sobre el lote deseado y haciendo un clic con el botón izquierdo, teniendo en cuenta que se pueden tener dos lotes por bloque y que no se puede repetir el lote escogido.

- Se aumenta desde cero los tiempos que se quiere regar para la aspersion y cada lote de goteo en minutos ubicando el cursor del Mouse sobre el icono "Tiempo de Aspersión (Goteo)" y

sosteniendo el botón izquierdo oprimido se lo mueve hacia la derecha hasta el valor deseado.

- El control de regreso a la primera pantalla se lo puede utilizar antes de que se arranque la función caso contrario, este control es invisible, se lo opera ubicando el cursor del Mouse sobre el icono "Pantalla 1" y se hace clic con el botón izquierdo.

- Una vez que se ha determinado el bloque ha realizar la aspersion, los lotes que se quiere hacer el goteo, se tiene dado los tiempos que se quiere regar tanto el bloque, como cada lote y se desea continuar la función, se ejecuta el sistema ubicando el cursor del Mouse sobre el icono "Arranque del Sistema" y se hace un clic en el botón izquierdo, iniciándose el funcionamiento de todos los elementos del sistema de filtrado, y las válvulas escogidas.

- Cuando la función de aspersion y goteo se está realizando el operador tiene opción de finalizarla por medio del control de paro de función ubicando el cursor del Mouse sobre el icono "Stop" y haciendo un clic con el botón izquierdo.

- Si se produce falla por caudal, falla por falta de agua, se ha finalizado la función por llegar al tiempo dado por el operador, o si se finalizo por orden del operador, se apagan todos los elementos que estaban funcionando, se imprime un mensaje con el motivo del paro, se finaliza dicha función y se observa nuevamente el control de regreso a la primera pantalla.

Pantalla de Retrolavado de Filtros.-

Iconos:

Luego de que se ha escogido esta función desde la primera pantalla, se tiene acceso a los siguientes iconos:

1. Escoger que tipo de retrolavado se desea realizar, así:

ESCOJA EL TIPO DE RETROLAVADO

- Retrolavado de Filtros Automático
- Retrolavado de Filtros por Tiempos

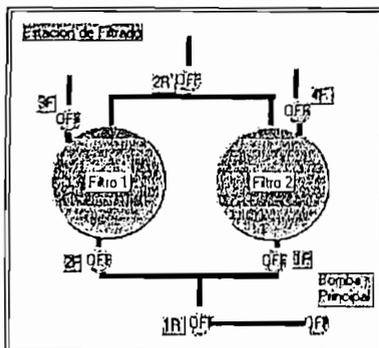
PANTALLA 1



2. Control de Regreso a la Primera Pantalla

Operación:

- Se escoge que tipo de retrolavado se desea realizar ubicando el cursor del Mouse sobre el icono "Escoja el Tipo de Retrolavado" y se hace un clic con el botón izquierdo en la función deseada, dependiendo de eso se dirige a la correspondiente pantalla.



- El control de regreso a la primera pantalla se lo puede utilizar antes de que se arranque la función caso contrario, este control es invisible y se lo opera ubicando el cursor del Mouse sobre el icono "Pantalla 1" y se hace clic con el botón izquierdo.

Pantalla de Retrolavado de Filtros Automático.-

Iconos:

Luego de que se ha escogido esta función desde la pantalla de retrolavado inicial, se tiene acceso a los siguientes iconos:

PANTALLA 1



1. Control de Regreso a la Primera Pantalla

Inicio



2. Control de Inicio de Función

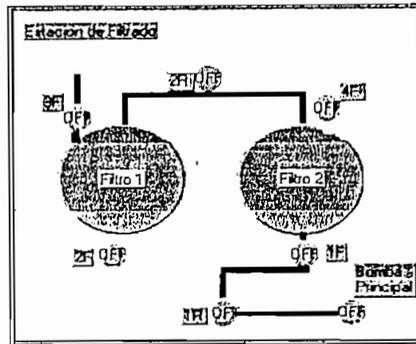


3. Control de Paro de función

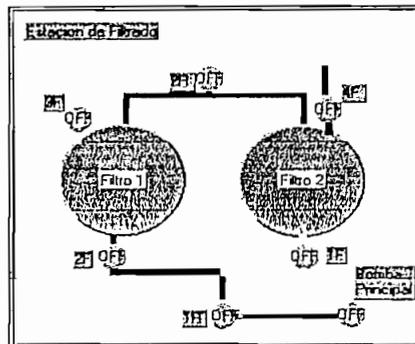
Operación:

- El control de regreso a la primera pantalla se lo puede utilizar antes de que se ejecute la función caso contrario, este control es invisible esto se lo realiza ubicando el cursor sobre el icono "Pantalla 1" y se hace clic con el botón izquierdo.

- Una vez que se desea continuar la función, se arranca el sistema ubicando el cursor del Mouse en el icono "Inicio" y se hace clic con el botón izquierdo, iniciándose el funcionamiento de los elementos del sistema de filtración para el lavado del filtro 1, aquí se indica el sentido de flujo del agua a través

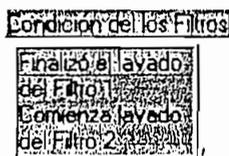


de los filtros, luego del tiempo determinado por el programa, se cambia a función de lavado del filtro 2 con la apertura y cierre de sus correspondientes



válvulas

- Se imprime en la pantalla el estado de funcionamiento de



los filtros.

- Cuando la función de retrolavado automático se está realizando el operador tiene opción de finalizarla por medio del control de paro de función ubicando el cursor del Mouse sobre el icono "Stop" y se hace un clic con el botón izquierdo.

- Si se produce falla por falta de agua, se ha finalizado la función por llegar al tiempo programado, o si se finalizó por orden del operador, se apagan todos los elementos que estaban funcionando, se imprime un mensaje con el motivo del

Condición de los Filtros



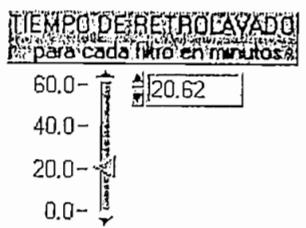
paro , se finaliza dicha función y se observa nuevamente el control de regreso a la primera pantalla.

Pantalla de Retrolavado de Filtros por Tiempos.-

Iconos:

Luego de que se ha escogido esta función desde la pantalla de retrolavado inicial, se tiene acceso a los siguientes iconos:

1. Control de Tiempo de Retrolavado de cada Filtro



PANTALLA 1



2. Control de Regreso a la Primera Pantalla

Inicio



3. Control de Inicio de Función

4. Control de Paro de función



Operación:

- Iniciando desde cero se incrementa el tiempo en minutos hasta el deseado por el operador para lavar cada filtro ubicando el cursor del Mouse sobre el icono "Tiempo de Retrolavado" y oprimiendo el botón izquierdo oprimido, se lo mueve hacia la derecha hasta el valor deseado.

- El control de regreso a la primera pantalla se lo puede utilizar antes de que se ejecute la función caso contrario, este control es invisible se lo opera ubicando el cursor del Mouse sobre el icono "Pantalla 1" y haciendo un clic en el botón izquierdo.

- Una vez que se ha escogido el tiempo a lavar cada filtro, y se desea continuar la función, se arranca el sistema ubicando el cursor del Mouse sobre el icono "Inicio" y haciendo clic en el botón izquierdo, iniciándose el funcionamiento de los elementos de filtración para el lavado del filtro 1, aquí se indica el sentido de flujo del agua a través de los filtros, luego del tiempo determinado por el programa, se cambia a función de lavado del filtro 2 con la apertura y cierre de sus correspondientes válvulas.

- Cuando la función de retrolavado automático se está realizando el operador tiene opción de finalizarla por medio

del control de paro de función ubicando el cursor del Mouse sobre el icono "Stop" y haciendo clic con el botón izquierdo.

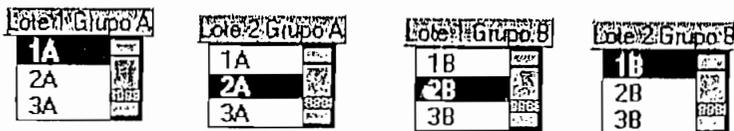
- Si se produce falla por falta de agua, se ha finalizado la función por llegar al tiempo dado, o si se finalizó por orden del operador, se apagan todos los elementos que estaban funcionando, se imprime un mensaje con el motivo del paro, se finaliza dicha función y se observa nuevamente el control de regreso a la primera pantalla.

Pantalla de Fertirrigación por Automatización de humedad.-

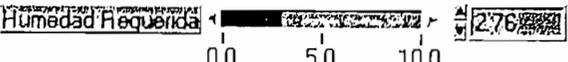
Iconos:

Luego de que se ha escogido esta función desde la primera pantalla, se tiene acceso a los siguientes iconos:

1. Escoger los lotes que se quiere hacer la fertirrigación:



- Lote 1 del Bloque A
- Lote 2 del Bloque A
- Lote 1 del Bloque B
- Lote 2 del Bloque B

2. Control de humedad requerida 

PANTALLA1



3. Control de Regreso a la Primera Pantalla

Arranque del Sistema



4. Control de Arranque de Función



5. Control de Paro de función

Operación:

- Se escoge los lotes que se va a hacer la fertirrigación ubicando el cursor del Mouse sobre el lote deseado y se hace clic con el botón izquierdo, teniendo en cuenta que se pueden tener dos lotes por bloque y que no se puede repetir el lote escogido.

- Se incrementa desde cero el dato de humedad que se requiere en los lotes hasta el valor deseado en porcentaje de humedad ubicando el cursor del Mouse sobre el icono "Humedad Requerida" y oprimiendo el botón izquierdo se lo mueve hacia la derecha hasta el valor deseado.

- El control de regreso a la primera pantalla se lo puede utilizar antes de que se ejecute la función caso contrario, este control es invisible se lo opera ubicando el cursor del Mouse sobre el icono "Pantalla 1" y haciendo un clic en el botón izquierdo.

- Una vez que se ha determinado los lotes, se escogió el valor de humedad requerida y se desea continuar la función, se arranca el sistema ubicando el cursor del Mouse en el icono

“Arranque del Sistema” y se hace un clic en el botón izquierdo, iniciándose el funcionamiento de todos los elementos del sistema de filtración, bomba de fertirrigación con su respectiva válvula y las correspondientes válvulas de los lotes escogidos.

- Cuando la función de fertirrigación se está realizando el operador tiene opción de finalizarla por medio del control de paro de función ubicando el cursor del Mouse sobre el icono “Stop” y haciendo un clic en el botón izquierdo.

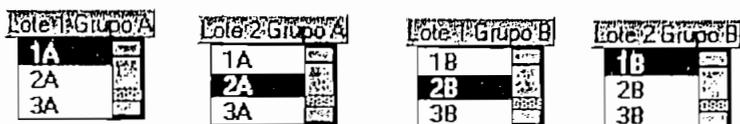
- Si se produce falla por caudal, falla por falta de agua, se ha finalizado la función por adquirir la humedad deseada, o si se finalizó por orden del operador, se apagan todos los elementos que estaban funcionando, se imprime un mensaje con el motivo del paro, se finaliza dicha función y se observa nuevamente el control de regreso a la primera pantalla.

Pantalla de Fertirrigación por Tiempos.-

Inicio:

Luego de que se ha escogido esta función desde la primera pantalla, se tiene acceso a los siguientes iconos:

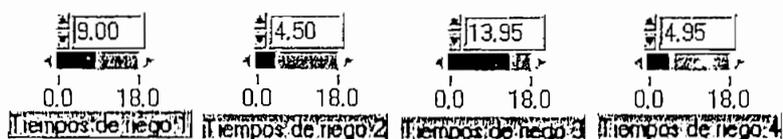
1. Escoger los lotes que se quiere hacer la fertirrigación:



- Lote 1 del Bloque A

- Lote 2 del Bloque A
- Lote 1 del Bloque B
- Lote 2 del Bloque B

2. Escoger los tiempos que se quiere realizar la fertirrigación:



- Tiempo Lote 1 Bloque A
- Tiempo Lote 2 Bloque A
- Tiempo Lote 1 Bloque B
- Tiempo Lote 2 Bloque B

PANTALLA 1



3. Control de Regreso a la Primera Pantalla

Arranque del Sistema



4. Control de Arranque de Función



5. Control de Paro de función

Operación:

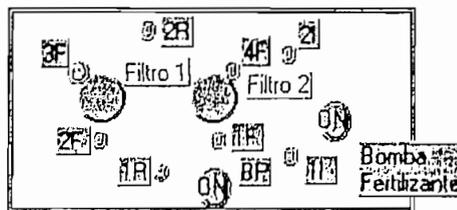
- Se escoge los lotes que se va ha hacer la fertirrigación ubicando el cursor del Mouse en el lote deseado y se hace un clic en el botón izquierdo, teniendo en cuenta que se pueden tener dos lotes por bloque y que no se puede repetir el lote escogido.

- Se aumenta desde cero el tiempo que se quiere regar cada lote en minutos ubicando el cursor del Mouse sobre el icono "Tiempo de Riego 1 (2, 3, 4)" y oprimiendo el botón izquierdo se lo mueve hacia la derecha hasta el valor deseado.

- El control de regreso a la primera pantalla se lo puede utilizar antes de que se arranque la función caso contrario, este control es invisible se lo opera ubicando el cursor del Mouse sobre el icono "Pantalla 1" y se realiza un clic en el botón izquierdo.

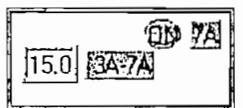
- Una vez que se ha determinado los lotes, se tiene dado los tiempos que se quiere regar cada lote y se desea continuar la función, se arranca el sistema ubicando el cursor del Mouse sobre el icono "Arranque del Sistema" y se realiza un clic en el botón izquierdo, iniciándose el funcionamiento de todos los elementos del sistema de filtrado, la bomba de fertilizantes

con su respectiva válvula



, y las

válvulas escogidas



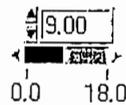
- Cuando la función de goteo se está realizando el operador tiene opción de finalizarla por medio del control de paro de función ubicando el cursor del Mouse sobre el icono "Stop" y se realiza un clic en el botón izquierdo.

- Si se produce falla por caudal, falla por falta de agua, se ha finalizado la función por llegar al tiempo dado por el operador, o si se finalizó por orden del operador, se apagan todos los elementos que estaban funcionando, se imprime un mensaje con el motivo del paro, se finaliza dicha función y se observa nuevamente el control de regreso a la primera pantalla.

Pantalla de Fumigación.-

Iconos:

Luego de que se ha escogido esta función desde la primera pantalla, se tiene acceso a los siguientes iconos:



1. Control de Tiempo de Fumigación 

PANTALLA



2. Control de Regreso a la Primera Pantalla

Arranque del Sistema



3. Control de Arranque de Función



4. Control de Paro de función

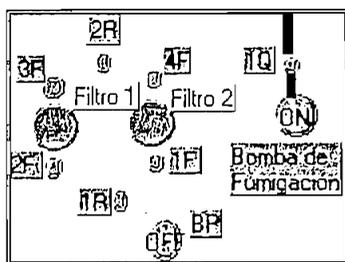
Operación:

- Se incrementa el tiempo en minutos, iniciándose desde cero hasta el valor deseado por el operador para realizar la fumigación ubicando el cursor del Mouse sobre el icono "Tiempo

de Fumigación" y oprimiendo el botón izquierdo se lo mueve hacia la derecha hasta el valor deseado.

- El control de regreso a la primera pantalla se lo puede utilizar antes de que se arranque la función caso contrario, este control es invisible ubicando el cursor del Mouse sobre el icono "Pantalla 1" y se realiza un clic en el botón izquierdo.

- Una vez que se ha escogido el tiempo a fumigar, y se desea continuar la función, se arranca el sistema ubicando el cursor del Mouse sobre el icono "Arranque del Sistema" y se realiza un clic en el botón izquierdo, iniciándose el funcionamiento de los elementos de fumigación como son la bomba



y su respectiva válvula.

- Cuando la función de fumigación se está realizando el operador tiene opción de finalizarla por medio del control de paro de función ubicando el cursor del Mouse sobre el icono "Stop" y se realiza un clic en el botón izquierdo.

- Si se ha finalizado la función por llegar al tiempo dado, o si se finalizó por orden del operador, se apagan todos los elementos que estaban funcionando, se imprime un mensaje con el motivo del paro, se finaliza dicha función y se observa nuevamente el control de regreso a la primera pantalla.

Pantalla de Funcionamiento de Sublimadores.-

Iconos:

Luego de que se ha escogido esta función desde la primera pantalla, se tiene acceso a los siguientes iconos:

1. Escoger que tipo de sublimación que se desea realizar, así:

ESCOJA EL TIPO DE SUBLIMACIÓN ▼

- Sublimación de lotes escogidos
- Sublimación de todos los lotes

PANTALLA 1



2. Control de Regreso a la Primera Pantalla

Operación:

- Se escoge que tipo de sublimación que se desea realizar ubicando el cursor del Mouse sobre el icono "Escoja el Tipo de Sublimación" y se realiza un clic en el botón izquierdo en la función deseada, dependiendo de eso se dirige a la correspondiente pantalla.

- El control de regreso a la primera pantalla se lo puede utilizar antes de que se ejecute la función caso contrario, este control es invisible, se lo opera ubicando el cursor del Mouse sobre el icono "Pantalla 1" y se realiza un clic en el botón izquierdo.

Pantalla de Sublimación de lotes Escogidos.-

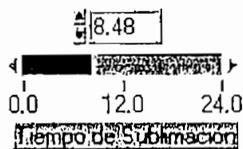
Iconos:

Luego de que se ha escogido esta función desde la pantalla de sublimación inicial, se tiene acceso a los siguientes iconos:

1. Escoger los lotes que se quiere hacer la Sublimación



2. Control de Tiempo de funcionamiento de sublimadores



3. Control de Regreso a la Primera Pantalla



4. Control de Arranque de Función

Arranque de Sistema



5. Control de Paro de función



Operación:

- Se escoge primeramente, los lotes que se va a realizar la sublimación, esto lo hacemos presionando Shift y Clic en el botón izquierdo del Mouse, en la posición que se desea.

- Incrementando desde cero se da el tiempo en horas, que se desea realizar la sublimación ubicando el cursor del Mouse

sobre el icono "Tiempo de Sublimación" y oprimiendo el botón izquierdo se lo mueve hacia la derecha hasta el valor deseado.

- El control de regreso a la primera pantalla se lo puede utilizar antes de que se arranque la función caso contrario, este control es invisible ubicando el cursor del Mouse sobre el icono "Pantalla 1" y se realiza un clic en el botón izquierdo.

- Una vez que se han escogido los lotes a sublimar, se ha dado el tiempo de sublimación y se desea continuar la función, se arranca el sistema ubicando el cursor del Mouse sobre el icono "Arranque del Sistema" y se realiza un clic en el botón izquierdo, iniciándose el funcionamiento de los elementos de sublimación escogidos.

- Cuando la función se está realizando el operador tiene opción de finalizarla por medio del control de paro de función ubicando el cursor del Mouse sobre el icono "Stop" y se realiza un clic en el botón izquierdo.

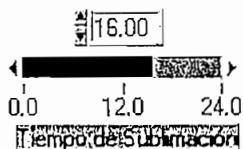
- Si se ha finalizado la función por llegar al tiempo dado, o si se finalizó por orden del operador, se apagan todos los elementos que estaban funcionando, se imprime un mensaje con el motivo del paro, se finaliza dicha función y se observa nuevamente el control de regreso a la primera pantalla.

Pantalla de Sublimación de Todos los Lotes.-

Iconos:

Luego de que se ha escogido esta función desde la pantalla de sublimación inicial, se tiene acceso a los siguientes iconos:

1. Control de Tiempo de funcionamiento de sublimadores



PANTALLA 1



2. Control de Regreso a la Primera Pantalla

Arranque del Sistema

3. Control de Arranque de Función



4. Control de Paro de función



Operación:

- Incrementando desde cero se da el tiempo en horas, que se desea hacer la sublimación ubicando el cursor del Mouse sobre el icono "Tiempo de Sublimación" y oprimiendo el botón izquierdo se lo mueve hacia la derecha hasta el valor deseado.

- El control de regreso a la primera pantalla se lo puede utilizar antes de que se arranque la función caso contrario, este control es invisible ubicando el cursor del Mouse sobre el icono "Pantalla 1" y se realiza un clic en el botón izquierdo.

- Una vez que se ha dado el tiempo de sublimación y se desea continuar la función, se arranca el sistema ubicando el cursor del Mouse sobre el icono "Arranque del Sistema" y se