

Lej. 48

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Estudios Superiores  
"CUAUTITLAN"



DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR  
MICROASPERION PARA CULTIVO DE  
CRISANTEMO

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO AGRICOLA  
P R E S E N T A :  
ISAAC ABRAHAM RODRIGUEZ GOMEZ

Director: Ing. Francisco Raúl Hernández Saucedo



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# C O N T E N I D O

PAGINA

INDICE DE FIGURAS

INDICE DE CUADROS

RESUMEN

1.	INTRODUCCION	1
1.1	Antecedentes	3
1.2	Justificación	4
1.3	Objetivo	6
2.	REVISION DE LITERATURA	7
2.1	Generalidades del riego por aspersión	7
2.1.1	Ventajas y desventajas del riego por aspersión	8
2.1.2	Tipos de riego por aspersión	9
2.1.3	El riego por aspersión bajo cubierta	10
2.1.3.1	Características de los cultivos bajo cubierta	10
2.1.3.2	Tipos de riego por aspersión bajo cubierta	12
2.1.4	La automatización en el riego por aspersión	14
2.1.4.1	Componentes de un sistema automatizado	15
2.1.4.2	Tipos de sistemas automáticos	16
2.2	Aspectos relativos al diseño agronómico	18
2.2.1	Calidad de agua	18
2.2.1.1	Conductividad eléctrica	19
2.2.1.2	Relación de adsorción de sodio	21
2.2.1.3	Carbonatos	21
2.2.1.4	Boro	22
2.2.2	Características del suelo	22
2.2.2.1	Textura	23
2.2.2.2	Estructura	24

	PAGINA
2.2.2.3 Porosidad	25
2.2.2.4 Densidad aparente	26
2.2.2.5 Densidad real	26
2.2.2.6 Disponibilidad de agua	27
2.2.3 El cultivo de crisantemo	27
2.2.3.1 Suelo	27
2.2.3.2 Requerimientos de agua	28
2.2.3.3 Requerimientos de fertilización	29
2.3 Aspectos relativos al diseño hidráulico	30
2.3.1 Pérdidas de carga en tuberías	30
2.3.1.1 Pérdidas de carga por fricción	30
2.3.1.2 Pérdidas de carga localizadas	36
2.3.2 Diseño de la línea principal	37
2.3.3 Diseño de laterales	39
2.3.4 Selección del aspersor	41
2.3.5 Revisión de sobrepresiones	44
2.3.6 Selección del equipo motobomba	45
2.3.7 Equipo de control	47
2.4 Aspectos económicos	48
2.4.1 Costo fijo total (costo de adquisición)	49
2.4.2 Funcionamiento y mantenimiento	51
2.4.3 Comparación costo-beneficio	52
3. MATERIALES Y METODOS	53
3.1 Descripción del lugar	53
3.2 Caracterización del agua de riego	54
3.3 Caracterización del suelo	57
3.4 Características de los componentes del sistema, adquiridos con anterioridad	58
3.4.1 Microaspersores	59
3.4.2 Válvulas solenoides	59
3.4.3 Controlador	60

	PAGINA
3.5 Metodología de diseño	61
3.5.1 Laterales	61
3.5.2 Línea principal	62
3.5.3 Revisión de sobrepresiones	64
3.5.4 Equipo de bombeo	65
3.5.5 Equipo de control	65
3.6 Evaluación económica	66
3.6.1 Vida Útil del sistema	66
3.6.2 Relación costo-beneficio	66
4. RESULTADOS	68
4.1 Resultados de los estudios preliminares	68
4.1.1 Calidad del agua	68
4.1.2 Características del suelo	70
4.1.3 Pruebas de presión del microaspersor	71
4.2 Resultados del diseño	72
4.2.1 Lista de materiales y costo	78
4.2.1.1 Componentes previamente adquiridos	78
4.2.1.2 Tuberías	79
4.2.1.3 Equipo de bombeo	80
4.2.1.4 Equipo de control	82
4.2.1.5 Costo total	83
4.2.2 Programa de operación	84
4.3 Resultados del análisis económico (blance costo-beneficio)	87
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	90
6. LITERATURA CITADA	92
7. APENDICE	96
7.1 Proveedores consultados	96
7.2 Memoria de cálculo	98
7.3 Plano general	106

INDICE DE CUADROS

CUADRO		PAGINA
2.1	Calidad del agua según su conductividad eléctrica.	19
2.2	Coefficiente de rugosidad absoluta para la fórmula de Darcy - Weisbach.	32
2.3	Valores de $K_s$ admitidos para diversos - materiales para la fórmula de Scobey.	33
2.4	Diversos valores para el coeficiente de fricción de Hazen - Williams.	35
2.5	Coefficiente de rugosidad para emplearse en la fórmula de Manning.	36
2.6	Valores para el coeficiente experimental K de diversos accesorios.	38
2.7	Períodos de depreciación aconsejados para los componentes de un sistema de riego en regiones en que la temporada de riego es larga (6 a 12 meses).	50
4.1	Resultados del análisis del agua a utilizar en el sistema de riego.	69
4.2	Resultados del análisis sobre las características físicas del suelo.	70
4.3	Resultados de las pruebas de presión - con el microaspersor.	71
4.4	Componentes previamente adquiridos.	78
4.5	Costo de la tubería.	79
4.6	Costo del equipo de bombeo.	80
4.7	Costo del equipo de control.	82
4.8	Costo total del sistema de riego.	83
4.9	Alternativas de operación.	85

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA		PAGINA
2.1	Diagrama de clasificación de aguas de riego	20
2.2	Tipos de disposición de los aspersores.	43
3.1	Croquis parcial de la estructura del invernadero (vista frontal).	55
3.2	Perspectiva parcial del invernadero.	56
3.3	Microaspersor colgante Chapin.	60
3.4	Tramo de unión de las laterales con la línea principal.	63
4.1	Curva característica de la bomba Ocelco - 1FXL.	75
4.2	Diagrama a bloques del tablero de control.	77
4.3	Vista frontal y lateral del equipo de bombeo.	81

## R E S U M E N

El presente proyecto tuvo como objetivo: diseñar un sistema - automático de riego por microaspersión para el cultivo de crisantemo bajo cubierta, considerando sus aspectos agronómicos, - hidráulicos y económicos.

El diseño fue desarrollado en el Departamento de Irrigación de la Universidad Autónoma de Chapingo, para un invernadero localizado en el km. 95 de la carretera Toluca - Zitácuaro, de donde se tomó la información necesaria.

El sistema de riego diseñado opera por secciones, con un gasto de 2.2 lt/seg. y a una presión de 20 psi (1.406 Kg/cm<sup>2</sup>), lo - que controla adecuadamente las ganancias de presión que ocasionan las condiciones topográficas y permite una buena uniformidad de aplicación.

En su desarrollo se buscó utilizar lo más posible algunos componentes del sistema que fueron adquiridos previamente al diseño a través de catálogo, por lo que se tuvieron que sortear diversos problemas para hacerlos compatibles con los componentes faltantes, lo cual trajo como consecuencia que se incrementara el costo total del sistema de riego diseñado.

A pesar del alto costo que presenta la adquisición de este sistema, por destinarse a un cultivo que es altamente rentable, - su costo puede ser absorbido en un corto plazo, por los ingresos que dicho cultivo presenta.



## 1.- INTRODUCCION.

El riego por aspersión, en todo el mundo se ha practicado en una escala relativamente pequeña desde hace 50 años, pero recientemente ha experimentado grandes mejoras (Goldberg, 1971).

Estas mejoras también se han dado en todos los equipos que se utilizan en la agricultura, haciendo que las labores realizadas en ella, se especialicen como consecuencia del mismo desarrollo.

Goldberg (1971) menciona que actualmente es posible utilizar sistemas de riego por aspersión en casi todos los cultivos y en una amplia gama de condiciones; y dentro de la horticultura ornamental se han desarrollado sistemas altamente automáticos.

Debe mencionarse el hecho de que, si bien el riego manual ha sido usual desde largo tiempo en los invernaderos, en los últimos años se han adoptado varios tipos de sistemas por aspersión para economizar mano de obra y mejorar la eficiencia de los trabajos. Es lógico suponer que el grado de mecanización o automatización guarde relación con el grado de industrialización de un país o región (Pillsbury, 1968).

De aquí que la tecnología utilizada en la agricultura, así como en otras áreas de la producción, se origine y desarrolle primeramente en los países industrializados bajo las condiciones y características que en ellos se presentan.

Por estas razones, al pensar introducir a un país como el nuestro tecnología de esos países, en nuestro caso particular sistemas de riego por aspersión, es necesario realizar primeramente un estudio de diseño; pues como señala Goldberg (1971), cuando se diseña en forma adecuada y todos los componentes se

seleccionan de acuerdo a las condiciones del viento, características del cultivo, propiedades del suelo y del agua, el sistema puede operarse con altas eficiencias de riego excediendo al 80%.

Con anterioridad a la realización del presente trabajo, en el lugar del proyecto, Rancho la Carolina, ubicado en el municipio de Zitácuaro, estado de Michoacán, se deseó introducir un sistema de riego por microaspersión, originario de Estados Unidos de Norteamérica, para el cultivo de crisantemo bajo cubierta; adquiriéndose microaspersores, válvulas de solenoide y un controlador electrónico, considerando solo las características que el fabricante proporciona sobre sus artículos en los catálogos.

Sin embargo, no se debe simplificar demasiado la adquisición de un sistema de aspersión, aunque mucho podría hacerse para normalizar los componentes y preparar un criterio de diseño mejorado. La buena técnica de ingeniería es un requerimiento vital para lograr resultados favorables (Goldberg, 1971).

Generalmente, la selección del método de riego debe hacerse sobre la base de una investigación completa del clima, suelo, agua y topografía, y en el caso del diseño de un sistema de riego por aspersión, la selección del tipo de aspersor debe realizarse sobre la misma base (Zimmerman, 1970).

Por las partes ya adquiridas este diseño se encaminará hacia la selección y adaptación de los demás componentes del sistema a partir de las características de aquellos, siendo lo que Goldberg (1971), llama criterio de diseño mejorado.

## 1.1 Antecedentes.

La horticultura ornamental es en sí la producción de flores y plantas ornamentales, mismas que podemos dividir en flores de corte y flores vivas. Las primeras se refieren a aquellas que se separan de la planta madre y que sirven para hacer arreglos florales; las segundas son aquellas que permanecen en forma completa y que por sus características tienen un período de vida mayor, ya que están en recipientes, y posteriormente pueden ser trasplantadas a otros recipientes, macetas o bien al suelo firme. Las plantas ornamentales a su vez las podemos dividir - en plantas de interior, de exterior y follajes (Agrosíntesis, 1985).

La floricultura en México empieza a tomar importancia como negocio en la actividad agrícola. Sin embargo, para que la floricultura tenga un éxito completo, es necesario invertir primero dinero y esfuerzo, para posteriormente obtener los resultados (Agrosíntesis, 1985).

Las inversiones de capital en la floricultura, comúnmente se realizan por etapas, construyendo en cada una, instalaciones - que presenten prioridad para el desarrollo del invernadero. Se hace de esta manera por ser varias las secciones (naves de producción, planta madre, enraizador, sala de selección y empaque, cámara de refrigeración, bodegas y oficinas) y sistemas que lo forman (riego, fertilización, fumigación, alumbrado, etc.), - siendo muy difícil la construcción del invernadero en una sola etapa.

El cultivo de crisantemo en el lugar del proyecto se inició hace 12 años, construyendo en varias etapas los invernaderos de producción, macetas, el enraizador, de éste su sistema de riego automático, el sistema de alumbrado del enraizador y mace -

tas, así como las pilas para el riego por manguera y los canales de conducción de agua de todas las secciones. En otras etapas se ha intentado ampliar la superficie de invernaderos.

Ahora, en otra etapa, se desea instalar en la sección de macetas un sistema de riego automático, para ello se adquirió en forma sucesiva por medio del catálogo de la compañía Gloeckner los siguientes componentes:

- 441 Microaspersores en abanico mod. Chapin .
- 21 Válvulas de solenoide marca Asco
- 1 Controlador electrónico de 6 estaciones mod. 1626B Phytotronics.

Tiempo después, cuando el sustentante de este trabajo participó en las actividades de la propiedad como asesor técnico del cultivo, tomó la idea existente de la instalación del sistema de riego, para surgir así el presente trabajo de tesis.

## 1.2 Justificación.

Los crisantemos y pompones son considerados como plantas de días cortos, botonean y florecen cuando las noches son largas y los días cortos. El buen cultivo de crisantemo necesita una adecuada regulación del tiempo de día y de noche. El periodo de días largos es necesario para el adecuado desarrollo de los tallos y hojas, los días cortos solo sirven para inducir a floración (Machin y Scopes, 1978).

El lugar destinado para el control de la cantidad de horas luz varía entre los diversos productores, pero por lo general se realiza dentro de la zona de producción, proporcionándoles luz durante las 3 ó 4 semanas subsiguientes a la plantación, para ello existen líneas de alumbrado permanentes en esa zona.

En el lugar del proyecto la sección de macetas se creó con la finalidad de realizar en un lugar determinado el control de las horas luz, mientras se fomenta el crecimiento; así se consigue el uso continuo de las líneas de alumbrado.

En esta sección se introducen los esquejes provenientes del almácigo en macetas de 10 cm. de diámetro (4"), llenadas previamente con una preparación de suelo, colocando 2 esquejes de pompón separados entre sí 5 cm. o 1 de crisantemo (standar) en la parte central de la maceta.

Durante los tres primeros días después de la plantación las plantulas se riegan ligeramente 3 ó 4 veces al día, tratando de evitar síntomas fuertes de marchitamiento; una vez adaptadas a las nuevas condiciones del suelo y del ambiente se les da 1 ó 2 riegos pesados por día hasta su salida de la sección, que es después de 3 a 5 semanas.

Actualmente el riego en esta sección, así como también el de las demas secciones del cultivo, se realiza por manguera utilizando en su parte terminal accesorios que ayudan a romper el impacto del agua sobre el suelo y mejoran su distribución.

El tamaño de la manguera debe relacionarse con el promedio de aplicación y por lo tanto las mangueras de pequeño diámetro no suelen utilizarse si el promedio de aplicación que se necesita es alto (Hogg et-al, 1981). Por otra parte las mangueras de diámetro grande son excesivamente pesadas.

Una desventaja muy importante de este método es el efecto adverso que tiene sobre la estructura de la superficie del suelo y su aeración; otras son la gran necesidad que tiene de mano de obra y su dificultad de realizarla debido a la monotonía que causa (Hogg et - al, 1981).

### 1.3 Objetivo.

Diseñar un sistema automático de riego por microaspersión para el cultivo de crisantemo bajo cubierta considerando sus aspectos agronómicos, hidráulicos y económicos.

## 2.- REVISION DE LITERATURA.

### 2.1 Generalidades del Riego por Aspersión.

El riego por aspersión es un sistema que consiste en distribuir el agua bajo la forma de lluvia sobre el suelo (Poirée y Ollier, 1970).

El riego por aspersión ha surgido por el deseo de imitar en todo lo posible a la Naturaleza, dejando caer el agua sobre las plantas igual que ella lo hace (Gómez, 1981).

Dicha aspersión se obtiene al impulsar agua a presión, a través de pequeños orificios o boquillas. Generalmente la presión se obtiene por bombeo, aunque puede lograrse por gravedad si la fuente de abastecimiento del agua es bastante elevada, con relación al área regada (USDA, 1972).

El agua puede aplicarse uniformemente, con una velocidad de aplicación calculada según la capacidad de absorción del suelo, si se tiene cuidado en la selección del tamaño de las boquillas, de las alturas requeridas, de la presión necesaria y del espaciamiento de los aspersores (USDA, 1972).

La aspersión es muy ventajosa en las regiones climáticas más húmedas y templadas, para suelos delgados, plantas de raíces superficiales que necesitan aplicaciones ligeras y para necesidades especiales de una aplicación ligera, tales como los riegos de germinación y para enfriamiento. La eficiencia de aplicación del agua con láminas de riego hasta de 40 mm., es mucho mayor de la que se puede obtener con los métodos superficiales (Zimmerman, 1970).

El método de riego por aspersión se adapta a la mayoría de las

plantas y a una amplia gama de condiciones (Goldberg, 1970), - aunque, no parece conveniente su empleo en climas extremadamente áridos y con gran irradiación solar (Gómez, 1981), ni en zonas con mucho viento (Zimmerman, 1970).

#### 2.1.1 Ventajas y Desventajas del Riego por Aspersión..

Gómez (1981) y Goldberg (1971), mencionan como ventaja principal la facilidad de adaptar la entrega de agua a las necesidades de la planta, la textura del suelo y su profundidad, siendo la precipitación tan débil o tan intensa según se desee.

La aspersión asegura un riego controlado; pudiéndose emplear - en cualquiera que sea la naturaleza de los suelos (Poirée y - Ollier, 1970). Además, no se necesita realizar una preparación - previa del terreno a regar, evitando así la nivelación (Gómez, 1970).

Con este método se obtiene una gran economía de agua por uni - dad de superficie, en comparación con los métodos de gravedad - (Poirée y Ollier, 1970); la proporción puede ser tan baja como - de 4 a 1 (Goldberg, 1971).

También pueden crearse condiciones ambientales para el cultivo que conduzcan a mayores rendimientos y productos de inmejora - ble calidad (Goldberg, 1971). Poirée y Ollier (1970), mencionan como otra ventaja el hecho de que la aspersión provoca una gran oxigenación del agua.

Por otra parte, según Poirée y Ollier (1970) junto con Gómez - (1981), la principal desventaja es el alto costo de adquisi - ción e instalación de los sistemas de aspersión.

Otras desventajas serían la alta evaporación de las gotas fi -



nas en climas secos o en presencia de aire seco (Gómez, 1981; - Poirée y Ollier, 1970) y la baja uniformidad de aplicación en presencia de vientos (Zimmerman, 1970).

Un sistema mal diseñado puede causar daños al terreno por compactación o por escurrimiento superficial, desarrollar enfermedades fungosas y perjudicar las flores y los frutos (Gómez, - 1981).

Ortega (1981), por último, menciona el consumo grande de energía necesaria para el riego por aspersión.

#### 2.1.2 Tipos de Riego por Aspersión.

Según Gómez (1981), los sistemas de riego por aspersión se - pueden dividir en cuatro grandes categorías:

##### a) Sistemas móviles.

En este sistema las tuberías de los aspersores, principales y secundarias; así como la planta de bombeo son portátiles. Tal sistema se diseña para llevarlo de un terreno a otro o a diferentes lugares de bombeo en el mismo terreno (USDA, - 1972).

##### b) Sistemas semifijos.

En estos sistemas los grupos motobomba se colocan dentro de una caseta que los protege de la intemperie y las tuberías primarias se construyen de fibrocemento, hormigón, hierro fundido, plástico, etc., pero ahorrando los mecanismos de juntas rápidas y enterrándolas para evitar obstáculos y protegerlas de los golpes.

Las conducciones de diámetro inferior o igual a 4 ó 5 pulgadas se mantienen móviles y con ellas las tuberías con aspersores.

c) Sistemas fijos.

En este sistema toda la red de tubería es fija y suele estar enterrada para no ofrecer obstáculos al laboreo. En algunos sistemas intermedios entre los semifijos y fijos, los aspersores se mueven como si se tratara de un sistema de cobertura total, en sistemas algo más perfectos, el aspersor es también fijo.

d) Sistemas especiales.

Se engloban aquí las modalidades de riego por aspersión que tratan de sustituir al sistema fijo a un precio más económico; entre ellos tenemos:

- Tuberías que se desplazan con movimiento lento uniforme en sentido perpendicular a su eje.
- Tuberías con el mismo movimiento que el anterior pero en forma intermitente.
- Tuberías que pivotan alrededor de un eje situado en uno de sus extremos.
- Tuberías que van colocadas sobre un gran tractor equipado con una motobomba y que se mueve sobre un canal.

2.1.3 El Riego por Aspersión bajo Cubierta.

2.1.3.1 Características de los Cultivos bajo Cubierta.

Las operaciones en los invernaderos presentan varias características que influyen grandemente sobre la selección de los aspersores, haciendo esta clase de riego completamente distinta de la practicada al aire libre, para Pillsbury (1968), estas características son:

a) Tierra artificial.

Es de todo punto normal servirse de un medio artificial para el crecimiento de las plantas que proporcione una aereación mejor que la tierra ordinaria.

b) Riegos frecuentes y someros.

Debido a la limitada zona radicular, que con frecuencia tiene poca profundidad, y a la intensidad de formación de raíces, de ordinario los riegos son poco cuantiosos y frecuentes.

c) Ausencia de vientos.

Por supuesto, no hay viento en los invernaderos y con ello desaparece el problema de la dispersión aerea de las gotas.

d) Zona cubierta reducida.

Las cajoneras de los invernaderos son estrechas, por lo cual desaparece la necesidad de aspersores que lancen el agua a grandes distancias.

e) Regulación de la humedad.

Con frecuencia es necesario elevar el grado de humedad en los invernaderos, para lo cual se necesitan comunmente "boquillas lanza niebla" de alta presión, cuando esta necesidad es muy señalada y el empleo de aspersores elevados no es perjudicial para las plantas, puede llegarse a una solución intermedia que sirva a la vez para el riego y para regular el grado de humedad.

f) Cultivo intensivo.

Las operaciones en invernaderos constituyen un cultivo mucho más intensivo que el que se practica en el campo, sus exigencias de mano de obra son elevadas.

Respecto a los costos de cultivo y mano de obra, la explota

ción de una hectárea de invernadero puede equivaler a diez hectáreas en el campo; por consiguiente, el desembolso por concepto de automatización del riego en invernaderos debe ser muy superior al acostumbrado en las instalaciones de campo.

g) Tuberías.

Las conducciones dentro de los invernaderos pueden ir colocadas sobre el terreno, a ambos lados o en el centro de las cajoneras, también en forma elevada; para estas conducciones señala Hogg et-al (1974), deben utilizarse materiales anticorrosivos como el aluminio o el cloruro de polivinilo (PVC). Las tuberías plásticas se utilizan cada vez más como conducciones fijas, sean aéreas, enterradas o no, en los diámetros inferiores a los 100 mm. sobre todo en PVC (D'at de Saint-Foulc, 1975).

### 2.1.3.2 Tipos de Riego por Aspersión bajo Cubierta.

Los tipos de riego por aspersión que se pueden utilizar dentro de los invernaderos son agrupados por Pillsbury (1968), de la siguiente manera:

a) Aspersión circular en abanico bajo el follaje.

El tipo ordinario de riego en invernaderos es el de abanico. El chorro vertical choca contra el deflector dispuesto en ángulo. Suelen hacerse de latón o plástico, preferentemente naylon.

En el riego bajo el follaje el tubo va colocado en la parte superior de las cajoneras, se utiliza cuando existe suficiente espacio libre bajo el follaje, cuando éste podría dificultar la distribución del agua o cuando se desea que las hojas no queden mojadas.

- b) Aspersión en abanico sobre las hojas.  
Es igual al anterior sólo que los aspersores están colocados por encima de las plantas.
- c) Aspersión en abanico de altura variable.  
Es igual que el primer tipo pero la tubería va unida a las cerchas del techo del invernadero de tal manera que pueden elevarse o bajarse a la altura deseada.
- d) Aspersión periférica en abanico.  
Se usa con plantas que crecen en cajoneras, se disponen a ambos lados de la parte superior de éstas con aspersores de pulverización semicircular periódica en abanico dirigiéndose hacia el interior.
- e) Aspersión de bolatón.  
Suelen tener la misma anchura que el invernadero y están formados por una tubería con aspersores de pulverización en abanico que se desplaza sobre carriles a lo largo del invernadero. Su objeción es que el uso del agua no es eficiente y los pasillos quedan demasiado mojados.
- f) Tuberías con boquillas.  
Al igual que los aspersores de bolatón suelen cubrir el ancho del invernadero. Se usan para cuando no hay objeción de asperjar por encima de las plantas.

A los aspersores utilizados dentro de los invernaderos Benami (1984) los clasifica como microaspersores, los cuales trabajan dentro de un rango de presión de 0.5 a 2.5 Kg./cm<sup>2</sup>, dando un gasto de 30 a 120 lt/hr.

#### 2.1.4 La Automatización en el Riego por Aspersión.

El objeto de la automatización de una instalación de riego no solamente quiere decir eliminar la fatiga y el empeño del trabajo humano, sino también y sobre todo, mejorar cualitativa y tempestivamente la intervención del riego para ceñirse mejor a las exigencias de los cultivos y sacar de la misma cantidad de agua un mejor provecho (Rigau, 1986).

Actualmente ya es posible preveer con buena credibilidad cuales son las disposiciones necesarias para realizar correctamente una instalación de riego automático, así también, es fácil preveer que muchas de las actuales instalaciones pueden ser completadas y orientadas hacia la automatización con indudables mejoras de carácter organizativo y una sustancial mejora de la técnica de riego (Rigau, 1986).

La instalación de riego puede ser automatizada a diversos grados, según las exigencias y los niveles de gasto admisible. Mucha gente piensa que el objetivo último de una instalación de riego automatizado es el obtener el funcionamiento solamente pulsando un botón. La verdadera instalación automática es aquella capaz de analizar la humedad del terreno y, juzgando científicamente el momento más oportuno de la intervención, jareprear automáticamente el botón! (Rigau, 1986).

En teoría, una instalación automática no esta vinculada a un método particular de distribución, sin embargo, en la práctica se considera que solo las instalaciones con tuberías (aspersión, subirrigación, etc.,) son susceptibles de ser automatizadas (Rigau, 1986).

#### 2.1.4.1 Componentes de un Sistema Automatizado.

Rigau (1986). señala que en un sistema de riego automático se pueden distinguir los siguientes componentes:

##### a) Instalación.

La primera imagen de una instalación automática es la de una instalación completamente fija, pero el problema es realizarla de modo económico. Aparte de estudiar el costo mínimo de la instalación se estudian nuevas soluciones para los accesorios adecuados de la instalación fija.

##### b) Organos sensitivos.

Como dispositivos susceptibles a ser empleados como órganos sensitivos están: tensiómetros, artificial leal (órgano sensible de siliconas), higrómetros, bloques Bouyoucos y dispersores de copa porosa; siendo usados como medios de medición de grado de humedad del suelo.

##### c) Central de mando.

En una instalación perfecta, como deberá ser la de la futura instalación automática, los mandos deberán ser centralizados. La central de recogida de las señales debe tener en cuenta: el volumen de agua disponible en el terreno y el uso consuntivo máximo diario.

Por lo tanto la central de control establecerá el orden de las preferencias y los volúmenes de riego indicados por la capacidad hídrica del terreno.

Muy frecuentemente no es posible ordenar la detención del funcionamiento del sistema por medio del órgano sensitivo, porque éste presenta siempre un retraso. Por élllo se recurre al control del caudal de modo que el paro se realice después de un tiempo prefijado o de un cierto volumen de agua suministrado.

d) Transmisión de señales.

Las señales pueden ser transmitidas por medio de telecomandos hidráulicos o por medio de señales eléctricas, desarrollándose para éllo válvulas autodinámicas y válvulas a solenoide, respectivamente.

#### 2.1.4.2 Tipos de Sistemas Automáticos.

Para Rigau (1986), los tipos de sistemas automáticos existentes son:

a) Instalaciones de suministro continuo.

La posibilidad de distribuir el agua a medida de que es consumida, permite proveer un método de distribución bastante económico y lleno de aspectos muy interesantes. En realidad, en los cultivos hortícolas y florales, especialmente en invernadero, estos métodos han hallado una cierta difusión en la Gran Bretaña.

Estos sistemas de distribución son independientes de la humedad del terreno, pero podrían fácilmente hacerse sensitivos accionando la apertura del sistema con un dispositivo sensible, sustituyendo los dispersores por vasos porosos. En este tipo de sistemas se distinguen dos subtipos:

- Riego a goteo. Las versiones más conocidas son aquellas con goteadores de porcelana y más recientemente con delgados tubos capilares de goma.
- Riego por aspersión. Un sistema de este tipo produce una bajísima intensidad de lluvia. Los gastos de instalación pueden reducirse con la difusión de los aparatos y su construcción en gran serie, los gastos de ejercicio, en relación al costo de la energía pueden ser nulos en instalaciones de caída natural.



La eficiencia de un riego de tan bajísima intensidad (0.4 a 0.5 lt/seg/ha), debe ser extremadamente modesta y fácil de preveer, presentando pérdidas por evaporación iguales a un 20 ó 30% del caudal.

b) Instalaciones de automatismo cíclico.

El mando cíclico de un sistema se caracteriza por un dispositivo temporizador de funcionamiento hidráulico o de relojería eléctrica, al cual es confiada la misión de establecer los tiempos de funcionamiento y los de las respectivas pausas, así como el orden de sucesión.

El mando puede ser centralizado, pero a menudo están dispersos en pleno campo con diversos temporizadores. El primero es susceptible de un control directo y es por lo tanto de más fácil vigilancia, pero requiere un sistema de transmisión de orden constituido por una serie de válvulas autodinámicas de funcionamiento hidráulico o un telecomando eléctrico.

A veces las realizaciones en este sistema son solo monocíclicas en el sentido de que al término de un ciclo es necesario intervenir manualmente.

c) Instalaciones de automatismo sensitivo.

Las instalaciones accionadas por un programador cíclico no toma en cuenta las reales exigencias hídricas de las plantas y requiere una cuidada vigilancia para evitar regar sobre terreno mojado y sobretodo para variar las dosis de agua al variar las necesidades fisiológicas de los cultivos. Una instalación verdaderamente automática debe estar en cambio en condiciones de dosificar el agua según las disponibilidades hídricas del suelo. Por ello debe medir la humedad del terreno y completar las reservas hídricas cuando dicha

humedad desciende por debajo de un valor prefijado.

Las realizaciones de este género son todavía raras y limitadas a los cultivos más delicados (floricultura), especialmente en invernadero. Es decir, en condiciones en que el costo por unidad de superficie es bastante elevado.

## 2.2 Aspectos Relativos al Diseño Agronómico.

### 2.2.1 Calidad del Agua.

El agua utilizada en el riego de los cultivos no es pura, ni aún el agua de lluvia. La mayoría de los materiales presentes en los suministros de agua son completamente inocuos a los cultivos aunque varían según sea su concentración. Algunas aguas son duras, otras blandas y otras contienen nutrientes benéficos para el desarrollo de las plantas (Hogg et-al, 1981).

Desde el principio se necesita una investigación detallada sobre la calidad del agua (Zimmerman, 1970). Además es esencial asegurarse de que cualquier muestra de agua tomada para el análisis sea representativa del suministro a utilizar en el riego; debe tomarse en cuenta que cualquier contaminación es probable que sea mayor, cuando la fuente de agua es más limitada (Hogg et-al, 1981).

La calidad del agua para riego se determina por la composición y concentración de los constituyentes que pueda contener en solución o suspensión adquiridos durante su transporte desde los puntos de precipitación e infiltración hasta donde es utilizada. Esa calidad es determinante en el comportamiento de los suelos y los cultivos, en los aspectos relacionados con la salinización, la dispersión y destrucción de la estructura, la deposición de sedimentos y la diseminación de las plagas y enfermedades fungosas (Gurovich, 1985).

Los efectos químicos en los sistemas de conducción no ferrosos son comparativamente raros. Si el agua es apropiada para la utilización en los cultivos, probablemente no afectará ni a la uralita, plástico o conducciones de aluminio (Hogg et-al, 1981).

Según Zimmerman (1970), los análisis químicos para determinar la calidad del agua deben incluir:

- a) Conductividad eléctrica (micromhos/cm a 25° C.).
- b) Calcio y magnesio (miliequivalentes (m.e./litro).
- c) Sodio (m.e./litro).
- d) Carbonatos y bicarbonatos (m.e./litro).
- e) Sulfatos (m.e./litro).
- f) Boro (partes por millón (ppm)).

De acuerdo con Gómez (1979), existen varios sistemas diferentes para expresar la calidad de una agua, como son: el grado hidrotimétrico, la conductividad, el índice R.A.S. (relación de adsorción de sodio), etc., pero el Departamento de Agricultura de los EE.UU. recomienda usar el diagrama formulado a partir de los dos últimos (fig. 2.1).

#### 2.2.1.1 Conductividad Eléctrica.

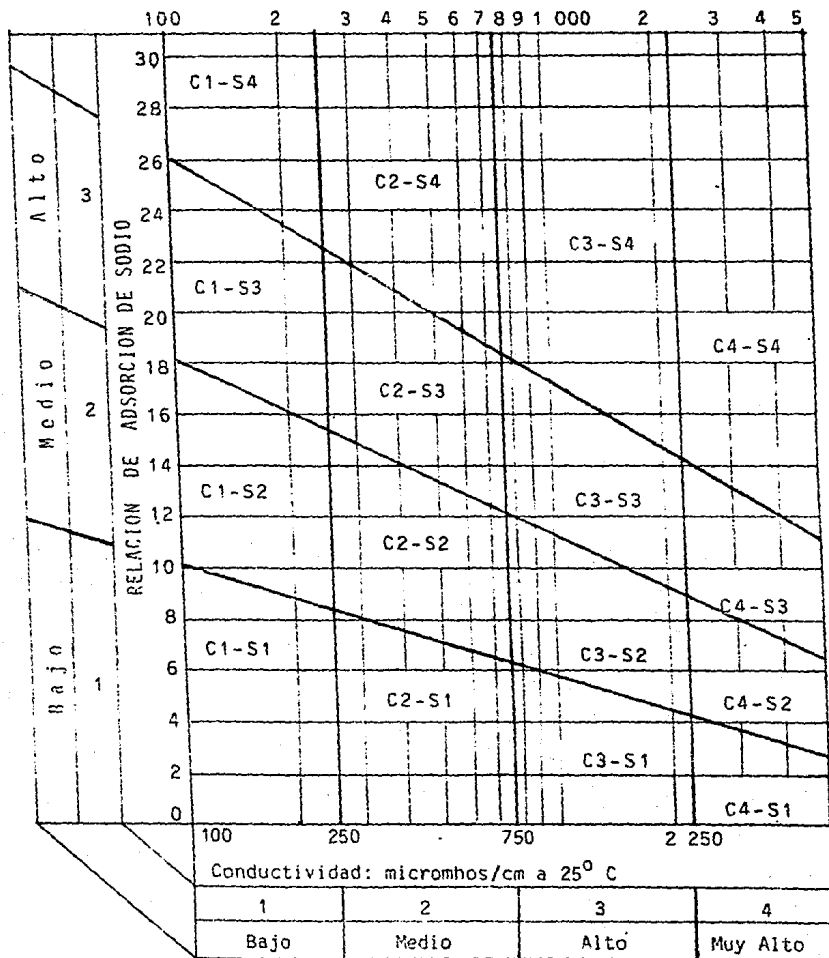
La conductividad eléctrica está en relación directa con el contenido total de sales del sistema y se mide en micromhos/cm a 25° C. La conductividad por si sola ya da una idea de la calidad del agua según el cuadro No. 2.1.

Cuadro 2.1 Calidad del agua según su conductividad eléctrica.

Conductividad en micromhos/cm.			Calidad del agua
0	a	1 000	Excelente a buena
1 000	a	3 000	Buena a marginal
más de		3 000	Inaplicable

Fuente: Gómez, 1979.

S = PELIGRO DE SODIO



C = PELIGRO DE SALINIDAD

Fig. 2.1 Diagrama para la clasificación de aguas de riego.  
Fuente: Gómez, 1979.

### 2.2.1.2 Relación de Adsorción de Sodio.

Además de la concentración de sales en solución, interesa la proporción relativa de sodio y cationes divalentes en el agua de riego, por sus efectos sobre la modificación del suelo. La importancia de este proceso radica en el efecto dispersante que tiene el sodio, al ser intercambiado por los coloides del suelo, debido a su elevado radio de hidratación. Cuando un suelo sufre dispersión por efectos de sodio, su estructura se ve alterada en diferentes grados de intensidad, sellándose total o parcialmente la superficie del suelo a la infiltración del agua e impidiendo el intercambio gaseoso entre la atmósfera y el perfil del suelo (Gurovich, 1985).

Gurovich (1985), indica que la relación de adsorción de sodio o R.A.S. se expresa de la siguiente manera:

$$\text{RAS} = \text{Na}^+ / \sqrt{(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})/2} \quad (2.1)$$

Na, Ca y Mg representan las concentraciones en miliequivalentes por litro de los iones respectivos.

### 2.2.1.3 Carbonatos.

Las sales químicas disueltas en el agua varían ampliamente en su naturaleza y concentración. Los sulfatos, carbonatos y bicarbonatos de calcio y magnesio se hallan presentes en casi todos los suministros de agua subterránea. Mientras que la concentración total puede variar de cantidades muy pequeñas hasta un 0.2%, estas sales no son generalmente peligrosas para el desarrollo de los cultivos (Hogg et al, 1981).

En aguas ricas en iones bicarbonatos, el calcio y el magnesio tienden a precipitar en forma de carbonatos a medida que la -

solución del suelo se vuelve más concentrada. Esta reacción no se completa totalmente en circunstancias ordinarias, pero a medida que las concentraciones de Ca y Mg se van reduciendo, aumenta así la proporción relativa de sodio (Gurovich, 1985).

#### 2.2.1.4 Boro.

El boro se encuentra en casi todas las aguas de riego y su concentración varia desde trazas hasta partes por millón. A pesar de ser un elemento esencial para el crecimiento de las plantas se convierte en tóxico cuando excede su nivel óptimo, que ha sido establecido de 0.03 a 0.04 ppm para la mayoría de los cultivos (Gurovich, 1985).

#### 2.2.2 Características del Suelo.

El suelo es un sistema de gran complejidad constituido por material sólido, líquido y gaseoso. La parte sólida puede ser mineral y orgánica; la composición mineral es un conjunto de partículas que difieren en composición química y mineralogía, así como en tamaño y forma. Su organización en el suelo determina las características de los espacios porosos, en los cuales el agua y el aire son transportados o retenidos. Se componen en gran parte de silicatos y silicio que incluyen otros elementos químicos, tales como el potasio, el calcio y el fósforo (Gurovich, 1985).

La porción orgánica incluye residuos vegetales y animales en diferentes estados de descomposición, así como organismos vivos en plena actividad (Gurovich, 1985). Las principales funciones de la materia orgánica consisten en proporcionar nutrición a los microorganismos y vegetales, además de mejorar y estabilizar la estructura del suelo (Withers y Vipond, 1978).

La fase líquida es el agua, que llena total o parcialmente los espacios libres entre las partículas de suelo y que varía en su composición química y en su facilidad de movimiento. La fase gaseosa o de vapor ocupa el espacio poroso entre las partículas de suelo que no está lleno de agua; su composición varía ampliamente en intervalos de tiempo relativamente cortos (Gurovich, 1985).

Según Withers y Vipond (1978), la textura y la estructura determinan la facilidad con que la planta puede extraer agua del suelo, pues de ellas se deriva el contenido de humedad y la forma del sistema capilar de la masa del suelo. Por otra parte Thompson (1980), señala que las propiedades físicas (textura, estructura, porosidad, consistencia, etc.), poseen una significación directa porque el espesor de la zona ocupada por las raíces y las relaciones de aire y agua en la misma, se hallan en gran parte determinadas por la constitución física del suelo.

#### 2.2.2.1 Textura.

La textura del suelo se refiere al porcentaje en peso de cada una de las tres fracciones minerales, arena, limo y arcilla. Estas fracciones se definen según el diámetro de las partículas expresado en milímetros (se considera que las partículas no esféricas presentan un diámetro equivalente, cuya magnitud se sitúa entre su dimensión máxima y mínima). Las partículas con diámetro mayor de 2 mm se excluyen de las determinaciones de textura, porque apenas contribuyen a las propiedades básicas del suelo, añadiendo en su presencia un adjetivo a las denominaciones de textura (Thompson, 1980).

Las características de retención de agua de un suelo se determinan por las partículas menores presentes; las partículas gran

des forman un complejo inerte. La fracción de arcilla de un suelo consiste principalmente en partículas minerales en forma de copo, que tienen ciertas propiedades eléctricas y dependen de los cationes proporcionados por la humedad. Se atraen o rechazan entre sí en grados diversos (Withers y Vipond, 1978).

Los porcentajes de arena, limo y arcilla de una muestra de suelo, se determinan tratando a la muestra previamente pesada con un compuesto de sodio (polifosfato u oxalato sódico) y dispersándola mediante un agitador eléctrico. La suspensión se lleva a un largo cilindro de un litro y se agita enérgicamente para después medir los cambios de densidad con un hidrómetro (Método del Hidrómetro de Bouyoucus) (Thompson, 1980).

#### 2.2.2.2 Estructura.

La ordenación de las partículas individuales para formar unidades mayores recibe el nombre de estructura del suelo, y resulta de la tendencia que experimentan las partículas más finas, especialmente la arcilla y el humus, a unirse entre sí (Thompson, 1980).

Los agregados o unidades estructurales constituyen agrupaciones naturales de partículas primarias (arena, limo y arcilla), que ocurren y persisten en el suelo y que presentan diferentes formas; por su tamaño pueden ser gruesos, medios o finos, y por su grado de desarrollo débiles, moderados o fuertes. Un suelo con estructura es mucho más permeable que otro carente de ella, aún cuando presente la misma textura y densidad (Thompson, 1980).

La estructura de un suelo se mantiene y mejora mediante prácticas sanas de cultivo y riego, y puede destruirse con rapidez mediante un manejo poco adecuado (Withers y Vipond, 1978).



Thompson (1980), clasifica los tipos de estructura de la siguiente manera:

- a) Sin estructura
  - grano suelto
  - masiva
  
- b) Con estructura
  - granular
  - laminar
  - poliédrica
  - prismática
  
- c) Con estructura destruida
  - pastoso

#### 2.2.2.3 Porosidad.

Una parte muy significativa del proceso que transforma la roca en suelo consiste en el ahuecado y disgregación del material, con lo cual aparecen poros en la masa. El volumen de los poros es compartido por aire y agua en proporciones que varían con las condiciones de humedad o sequedad del suelo. En general los poros mayores contienen aire, a menos que el suelo se encuentre completamente inundado, y los poros pequeños contienen agua, a menos que el suelo sufra una intensa desecación. El aire y el agua entran y salen de los poros de tamaño intermedio según varíe el contenido de agua del suelo (Thompson, 1980).

De acuerdo a Thompson (1980), la porosidad total de un suelo (porcentaje de espacios porosos (%EP)) se calcula a partir de las densidades aparente y real con la siguiente fórmula:

$$\%EP = 100 - \frac{\text{densidad aparente}}{\text{densidad real}} \times 100 \quad (2.2)$$

#### 2.2.2.4 Densidad Aparente.

Es el peso de los sólidos del suelo por unidad de volumen total del mismo. El volumen de poros es una parte del volumen de suelo medido para la estimación de la densidad aparente. Las muestras se secan a la estufa para extraer el agua antes de su pesada (Thompson, 1980).

Actualmente es posible medir la densidad aparente completamente en el campo mediante la atenuación de rayos gamma donde una fuente radioactiva de rayos gamma se introduce en un orificio junto con el detector. Las partículas de suelo tienden a absorber los rayos, de modo que cuanto más denso sea aquél mayor será la proporción absorbida y menor la cuenta realizada por el detector, la cual puede tomarse como una indicación de la densidad aparente (Thompson, 1980).

Los datos de densidad aparente se expresan corrientemente en gramos por centímetro cúbico ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ); en los suelos minerales puede variar de 1.0 a 1.6  $\text{g}/\text{cm}^3$ ; la de los suelos orgánicos es menor y puede alcanzar hasta 0.1  $\text{g}/\text{cm}^3$  en turbas de esfagnos (Thompson, 1980).

#### 2.2.2.5 Densidad Real.

Es otra propiedad básica que debe conocerse para calcular el volumen total de poros. La densidad real es la densidad media de las partículas del suelo. Se mide pesando en primer lugar, el picnómetro lleno de agua, luego se vacía y se introduce en él un peso conocido de suelo, más agua hasta llenarlo, y se vuelve a pesar (Thompson, 1980).

Las unidades utilizadas para expresar la densidad real son gramos por centímetro cúbico. El valor más común de esta densidad para suelos minerales oscila entre 2.6 y 2.7. Los suelos orgánicos presentan densidades bastante más bajas. (Thompson, 1980).

#### 2.2.2.6 Disponibilidad de Agua.

Gurovich (1985), menciona tres hipótesis que existen sobre el concepto de disponibilidad de agua del suelo; el primero postulado por Veihmeyer y Hendrickson, que define que el agua del suelo es igualmente disponible en un rango definible de humedad, desde un límite superior (capacidad de campo (CC)) a un límite inferior (punto de marchitamiento permanente (PMP)); ambos característicos y constantes para cada tipo de suelo. En dicho rango las funciones de la planta se mantienen sin afectarse por cualquier disminución en el contenido de agua hasta alcanzar el PMP, donde su actividad cesa en forma abrupta. La segunda presentada por Richards y Waldleigh indica que la disponibilidad de agua realmente disminuye a medida que desciende el contenido de agua del suelo y la planta puede sufrir un stress hídrico y reducir su crecimiento antes de alcanzar el PMP. En la tercera otros autores intentan dividir el rango de agua disponible en dos partes: La de fácilmente disponible y la de disponibilidad decreciente, dichos rangos están divididos por los que Benami (1984), define como punto crítico, el cual lo establece entre el 20 y 70% arriba del PMP, variando según el cultivo, y para cuestiones de diseño 33% arriba del PMP.

#### 2.2.3 El Cultivo de Crisantemo.

##### 2.2.3.1 Suelo.

El suelo ideal para el cultivo de crisantemo es un suelo fran

co-arenoso de buena textura, bien drenado y de buena aeración, con pH de 6.5 a 7.0 y un alto contenido de materia orgánica (Machin y Scopes, 1978). El tamaño de las partículas no debe exceder de 5 mm.

Básicamente son las mismas reglas para la preparación de suelo para macetas que de suelo para cajoneras. Sin embargo debe considerarse dos puntos importantes en la preparación de suelo para macetas:

- a) El suelo debe tener mejores características de drenaje que el de las cajoneras, debido a su profundidad menor.
- b) La preparación de suelo no puede ocuparse más de una sola vez. Las plantas agotan el suelo (Gloeckner, 1985).

Muchos problemas de riego y fertilización disminuyen cuando se tiene un suministro constante y homogéneo de suelo.

Existen muchas composiciones de suelo que varían con el tipo de suelo y el método de riego utilizados. Se prefiere estiércol o tierra de hoja como origen de humus (hasta 50 ton/ha se agregan en cada plantación, en el caso de las cajoneras), para mantener el alto nivel de humus que se necesita para este método de cultivo intensivo (Machin y Scopes, 1978).

#### 2.2.3.2 Requerimientos de Agua.

Los requerimientos de agua de las plantas de crisantemo son probablemente los más altos de todos los cultivos comerciales para flor cortada. La gran cantidad de área foliar trae como consecuencia una gran transpiración de las plantas. Estas pérdidas se reemplazan cuando aparecen síntomas de marchitamiento. (Cornell, 1968).

Durante sus primeras fases de crecimiento las plantas no pueden remover mucha agua del suelo por su tamaño pequeño, pero a medida que crecen las plantas aumenta la demanda de agua - (Gloeckner, 1985).

El crisantemo es muy sensible a la disponibilidad de agua en la zona de las raíces, pues cuando ésta desciende al 50 ó 40% se presenta una sensible reducción del crecimiento, pudiendo causar daños en la calidad del follaje y de las flores; se llega a mantener la calidad con riegos frecuentes durante los períodos de máximo desarrollo (Machin y Scopes, 1978).

### 2.2.3.3 Requerimientos de Fertilización.

Bajo un método intensivo de cultivo es esencial la fertilización, los métodos de fertilización varían mucho entre la gente que cultiva crisantemo (Gloeckner, 1985).

La aplicación de fertilizantes durante el crecimiento del cultivo varía con el equipo existente, lo más común es aplicar una pequeña cantidad de fertilizantes en cada riego (Cornell, 1968).

Es necesario un programa adecuado de fertilización para minimizar los problemas de deficiencias o excesos de nutrientes. El exceso de nutrientes trae consigo la acumulación de sales. La solución aplicada debe tener nitrógeno (en forma de nitratos), fósforo (en forma de fosfatos), potasio (en forma de sales de potasio), magnesio y azufre (agregados como sulfato de magnesio) y muy pequeñas cantidades de hierro, manganeso, cobre, boro, molibdeno y zinc (ésto es para la fertilización en general) (Machin y Scopes, 1978).

## 2.3 Aspectos Relativos al Diseño Hidráulico.

### 2.3.1 Pérdidas de Carga en Tuberías.

El aspecto más importante en el diseño de cualquier sistema de tuberías es la pérdida de carga. El problema en el diseño que aquí se presenta es seleccionar el diámetro de las tuberías y sus accesorios, que den un balance apropiado entre los costos de éstos y los de bombeo, de modo que se obtenga a fin de cuentas el menor gasto posible en la aplicación de agua con la máxima uniformidad (Gurovich, 1985).

Existen varias formas para determinar las pérdidas de carga en tuberías, la clásica es el empleo de fórmulas hidráulicas conocidas (Gurovich, 1985).

#### 2.3.1.1 Pérdidas de Carga por Fricción.

Las fórmulas tradicionales de Bazin, Kütler, Darcy, Strikler, Manning, Scimeni, etc., han sido estudiadas en tuberías que no presentan la discontinuidad de las uniones rápidas ni la lisura del tubo metálico. Las teorías modernas de Nikuradse, Von Karman y la fórmula de Colebrook dan resultados muy exactos pero resultan difíciles de aplicar (Gómez, 1981).

Algunas de las fórmulas más usuales son:

##### a) Fórmula de Darcy-Weissbach.

En esta fórmula intervienen la viscosidad cinemática del agua. Es muy exacta recomendándose para trabajos de investigación. Pero, para el cálculo ordinario no es práctica, pues a pesar de ser una fórmula monomía, exige cálculos previos para su aplicación, la fórmula (para tuberías de fundición) es la siguiente (Ortega, 1981):

$$H_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (2.3)$$

$H_f$  = Pérdida de carga por fricción en metros.

$f$  = Factor de fricción.

$g$  = Aceleración de la gravedad en  $m/seg^2$ .

$D$  = Diámetro interior en metros.

$V$  = Velocidad media del fluido en  $m/seg$ .

$L$  = Largo de la tubería en metros.

El elemento difícil de evaluar es el factor de fricción.

En base a experimentos realizados se han determinado las siguientes fórmulas para calcularlo (Ortega, 1981).

Poiseuille determinó  $f$  para flujo laminar ( $Re < 2\,300$ ):

$$f = \frac{64}{Re} \quad (2.4) \quad ; \quad \text{donde,} \quad Re = \frac{v D}{\nu} \quad (2.5)$$

$Re$  = Número de Reynolds.

$v$  = Velocidad media del fluido.

$D$  = Diámetro de la tubería.

$\nu$  = Viscosidad cinemática del líquido.

Colebrook y White determinaron la siguiente fórmula empírica para la zona de transición de fluido laminar a turbulento ( $Re > 2\,300$  a  $Re = 4\,000$ ),

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[ \frac{\epsilon/D}{3.71} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right] \quad (2.6)$$

$\epsilon/D$  = Rugosidad relativa.

esta fórmula está en función del número de Reynolds y de la rugosidad relativa.

Nikuradse determinó la siguiente fórmula empírica para la zona turbulenta ( $Re > 4\ 000$ ), variando exclusivamente con la rugosidad relativa.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \frac{D}{2\epsilon} + 1.74 \quad (2.7)$$

En base a estas fórmulas Moody preparó el "Diagrama Universal" que sirve para determinar el factor de fricción, se entra con los datos de rugosidad relativa y el número de Reynolds.

De las teorías de Von Karmán se desprenden los valores que se indican en el cuadro 2.2.

Cuadro 2.2 Coeficiente de rugosidad absoluta para la fórmula - de Darcy - Weissbach.

Material	$\epsilon$ en mm		
Tuberías de fundición nuevas	0.5	-	1
Tuberías de fundición en servicio	1.5	-	3
Tuberías de acero roblonado	1	-	10
Tuberías de acero roblonado con protección asfáltica	0.5	-	3.
Tuberías de polietileno	0.002		
Tuberías de P.V.C.	0.02		

Fuente: Gómez, 1979 y 1981.



b) Fórmula de Scobey (Ortega, 1981).

$$H_f = \frac{0.0012 K_s V^{1.9} L}{D^{1.1}} \quad (2.8)$$

$H_f$  = Pérdidas por fricción en metros.

$D$  = Diámetro interior en metros.

$L$  = Longitud en metros.

$V$  = Velocidad media del agua en m/seg.

$K_s$  = Coeficiente de fricción de Scobey.

El coeficiente de fricción de Scobey se determina en el cuadro 2.3.

Cuadro 2.3 Valores de  $K_s$  recomendados para diversos materiales para la fórmula de Scobey.

Material	$K_s$
Tuberías de amianto - cemento	0.32
Tuberías de plástico	0.32
Tuberías de acero con juntas soldadas	0.36
Tuberías de hormigón armado con juntas muy buenas	0.36
Tuberías de acero nuevas sin protección	0.40
Tuberías de aluminio con acoplamientos rápidos	0.42
Tuberías de acero poco usadas	0.44
Tuberías de acero o hierro con 15 años de uso	0.48
Tuberías muy rugosas	0.60

Fuente: Gómez, 1979.

c) Fórmula de Scimeni.- Scimeni estableció la siguiente fórmula monomía para conducciones de fibrocemento inferiores de 500 mm (Gómez, 1979).

$$J = \frac{9.83914}{D^{4.7857}} \cdot Q^{1.78571} \cdot 10^{-4} \quad (2.9)$$

J = Pérdida de carga por fricción en m.c.a. por metro de tubería.

Q = Caudal en m<sup>3</sup>/seg.

D = Diámetro interior en metros.

d) Fórmula de Gray y Asociados.

Los autores determinaron esta fórmula basándose en las pérdidas por fricción estudiadas en una tubería de aluminio para riego de 3" de diámetro en la Universidad de Cornell (Ortega, 1981).

$$H_f = \frac{0.30 L V^{1.74}}{1000 D^{1.26}} \quad (2.10)$$

H<sub>f</sub> = Pérdida por fricción en pies.

L = Longitud de la tubería en pies.

V = Velocidad del agua en pies.

D = Diámetro interior en pies.

e) Fórmula de Hazen - Williams (Ortega, 1981).

$$H_f = \frac{3.022 L V^{1.852}}{C^{1.852} D^{1.167}} \quad (2.11)$$

$H_f$  = Pérdida de carga por fricción en metros.

$L$  = Longitud de la tubería en metros

$V$  = Velocidad media del agua en m/seg.

$D$  = Diámetro interior en metros.

$C$  = Coeficiente de fricción de Hazen - Williams (cuadro 2.4).

Cuadro 2.4. Diversos valores para el coeficiente de fricción - de Hazen - Williams.

Material	C
Tuberías de fundición nuevas	130
Tuberías de fundición en servicio (30 años)	100
Tuberías de fundición en servicio (50 años)	75
Tuberías de palastro roblonado nuevas	114
Tuberías de palastro roblonado en servicio	97

Fuente: Gómez, 1981.

f) Fórmula de Manning.

Según Gómez (1981), aunque ésta es una fórmula más sencilla que otras en menos precisa.

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} \cdot j^{1/2} \quad (2.12)$$

$V$  = Velocidad en m/seg.

$R$  = Radio hidráulico en metros.

$j$  = Pérdida de carga en metros por metro de tuberías.

$n$  = Coeficiente de rugosidad.

Esta fórmula se utiliza mayormente para cálculos medianamente exactos de pérdidas de carga en tuberías de plástico, - aunque la fórmula es prácticamente aplicable a cualquier material usando los valores de n que aparecen en el cuadro - 2.5.

Cuadro 2.5 Coeficiente de rugosidad para emplearse en la fórmula de Manning.

Material	n
Tuberías de fundición	0.013 - 0.017
Tuberías de hormigón	0.011 - 0.016
Tuberías de fibrocemento	0.010 - 0.013
Tuberías de acero	0.008 - 0.009
Tuberías de PVC y polietileno	0.006 - 0.009

Fuente: Gómez, 1979.

### 2.3.1.2 Pérdidas de Carga Localizadas

El cálculo de las pérdidas de carga por fricción producidas en una conducción, mientras se mantiene un régimen de circulación próximo al laminar, es relativamente sencillo y preciso, sobre todo en tuberías muy lisas como son las de plástico y metal, - que tan corrientemente se emplean en los riegos por goteo y aspersión (Gómez, 1979).

Pero las dificultades son enormes cuando se trata de determinar las pérdidas que se producen en un punto particular de una conducción (pérdidas localizadas), en el cual se altera por alguna causa el régimen de líquido o su dirección, como es en: - filtros, contadores, válvulas, codos, tes, etc.; Si tenemos en

cuenta que en cada uno hay gran variedad de modelos y que cada casa fabricante utiliza su material y procedimientos de fabricación, presentándose casi siempre leves diferencias entre los proveedores, por lo que es fácil comprender que no es sencillo elaborar fórmulas o cuadros que ayuden a evaluar las pérdidas de carga producidas por estos accesorios (Gómez, 1979).

La evaluación de las pérdidas de carga localizadas se hace mediante la fórmula que Gómez (1979), describe:

$$H = K \frac{v^2}{2g} \quad (2.13)$$

H = Pérdida de carga en m.c.a.

K = Coeficiente experimental.

V = Velocidad media del agua en m/seg.

g = Aceleración de la gravedad (9.81 m/seg<sup>2</sup>).

Para las tuberías de materiales lisos con juntas que producen pocas pérdidas de carga, o casi sin juntas como son las conducciones de: polietileno, cloruro de polivinilo, fibrocemento, fundición, etc., aparecen en el cuadro 2.6 los valores entre los que suele oscilar K para algunos accesorios (ver pag. 38).

### 2.3.2 Diseño de la Línea Principal.

La función primordial de la línea principal es transportar el caudal de agua necesario a todas las secciones del área del proyecto, a la presión requerida, para hacer funcionar las líneas laterales en condiciones de máximo consumo (USDA, 1972).

En el cálculo de la línea principal no existe diferencia con el cálculo de una tubería ordinaria (Gómez, 1981).

Cuadro 2.6 Valores para el coeficiente experimental K de diversos accesorios.

Accesorio	Valores de K	
	inf.	sup.
Válvula de compuerta abierta	0.05	0.19
Válvula de retención de bola	65.00	70.00
Válvula de asiento en línea	5.20	10.00
Válvula de asiento en codo	2.00	5.00
Válvula de pie	12.00	30.00
Tapón de reducción	0.05	2.00
Tapón de reducción usado para ampliación	0.10	3.00
Codo de 90° roscado	0.60	0.90
Codo de 90° con platinas	0.22	0.30
Codo de 45° roscado	0.30	0.42
T en ángulo vivo, circulación por una derivación	0.85	1.30
T en ángulo vivo, circulación por las dos ramales	0.92	2.15
T en ángulo suavizado, circulación por una derivación	0.37	0.80
T en ángulo suavizado, circulación por las dos ramales	0.50	0.52

Fuente: Gómez, 1979.

El criterio que rige la pérdida aceptable de presión en la línea principal es que en cualquier posición específica de los ramales laterales sobre la línea principal, se disponga de una presión suficiente para que los aspersores funcionen correctamente. Por lo común, los ramales laterales tienen un espaciamiento regular sobre la línea principal, pero su diseño debe -

basarse en las posiciones de los ramales que presenten las máximas pérdidas por fricción (Withers y Vipond, 1978).

El método de diseño más sencillo consiste en determinar un solo diámetro para toda la línea principal. A tal fin se escoge aquél en el cual la pérdida de carga por fricción máxima obtenida esté lo más cerca posible de las pérdidas de carga por fricción admisibles, sin excederlas (Gurovich, 1985).

En general, la pérdida máxima por fricción en la tubería principal no debería sobrepasar el 30% de la carga total de la bomba (Withers y Vipond, 1978).

En terrenos con pendiente la línea principal debe trazarse hacia arriba o hacia abajo sobre las pendientes predominantes; de ser necesario deberán hacerse cambios en el diámetro de las tuberías a lo largo de dicha línea, con el fin de controlar la presión dentro del sistema (USDA, 1972).

### 2.3.3 Diseño de Laterales.

Hogg et-al (1981), llama laterales a las líneas que llevan el agua desde la línea principal a cada punto en que están situados los distribuidores de agua (aspersores). Al final de cada línea se inserta un tapón o tope final.

Las laterales deben diseñarse de tal manera que las pérdidas de carga totales no excedan del 20% de la presión de operación de los aspersores, asegurando así, que las descargas entre el primer y último aspersor de una línea no varíen entre sí más de un 10% (Gurovich, 1985).

Las pérdidas de carga por fricción en un lateral son menores -

que las de una tubería principal de igual diámetro, ésto se debe, a que el flujo de la tubería lateral se va reduciendo en la medida que el agua se mueve por ella; de esta manera el caudal conducido a través de un lateral es variable y por lo tanto habría que hacer un cálculo por tramos de tubería y gasto variable (Gurovich, 1985).

Esta última consideración, hace demasiado largo y laborioso el cálculo, por ello Christiansen desarrolló un método que consiste en determinar primero las pérdidas de carga por fricción - considerando la tubería sin salidas de agua; es decir, que desde el comienzo hasta el final de la tubería el gasto es el mismo, y luego, la pérdida de carga resultante se multiplica por el factor de corrección F para gasto variable (Gurovich, 1985).

En el cálculo de F se utiliza la siguiente forma empírica (USDA, 1972).

$$F = \frac{1}{m + 1} + \frac{1}{2N} + \frac{\sqrt{m - 1}}{6N^2} \quad (2.14)$$

F = Factor para salidas múltiples.

m = Exponente de la velocidad de la ecuación de fricción que se utilice.

N = Número de salidas de la línea.

Para satisfacer los requisitos de variación de presión, generalmente es necesario colocar las líneas laterales transversalmente a las pendientes predominantes del terreno. Deberá evitarse hasta donde sea posible, la instalación de laterales en contra-pendiente, pues las líneas suelen recortarse considerablemente, en cambio si las laterales van en dirección de la



pendiente pueden permitir longitudes mayores para cierto tamaño de tubería. Donde la pendiente del terreno a lo largo de la lateral es aproximadamente igual a la pendiente de la pérdida por fricción, la presión a lo largo de la lateral es casi constante (USDA, 1972).

#### 2.3.4 Selección del Aspersor

Existen dos tipos básicos de aspersores, los giratorios y los fijos, y atendiendo a los requerimientos de presión se pueden diferenciar en: baja presión con 1 a 2 atmósferas; mediana presión con 2 a 4 atmósferas y alta presión con 4 a 9 atmósferas (Novelo, 1982).

Las casas fabricantes publican especificaciones de diferentes marcas y tipos de aspersores, donde se detallan las condiciones de trabajo de los mismos (Novelo, 1982).

Se debe seleccionar el aspersor más adecuado para cada tipo de cultivo y usando la información de los catálogos del fabricante se determina: la carga de presión ( $P_a$ ), el gasto del aspersor ( $q$ ), los espaciamientos entre aspersores ( $s_1$ ) y entre laterales ( $s_p$ ), y la velocidad de aplicación ( $I$ ). La velocidad de aplicación deberá ser menor que la velocidad de infiltración básica y los espaciamientos deberán ser apropiados a las condiciones prevalecientes del viento (González, 1986).

Tomando en cuenta el gasto de aplicación del aspersor se calcula el gasto del sistema ( $Q_s$ ) el cual, deberá ser menor que el gasto máximo disponible ( $Q_d$ ). Así mismo,  $P_a$  dependerá de la carga de presión disponible ( $H_d$ ) del sistema y de las condiciones topográficas (González, 1986).

La longitud de cada lateral determina el número de aspersores sobre la línea y por consiguiente, la descarga de la tubería (Withers y Vipond, 1978).

El grado de uniformidad posible depende primordialmente del modelo de distribución de riego de los aspersores y de su espaciamiento. Cuando están espaciados adecuadamente, el modelo de distribución de cada uno de ellos, da como resultado una profundidad de riego casi uniforme (USDA, 1972).

De acuerdo a D'at de Saint-Foulc (1975), los aspersores pueden colocarse sobre la lateral de tres formas distintas, las cuales garantizan una buena distribución de la lluvia, estas disposiciones son:

a) Disposición en cuadrado.

Para la cual se utiliza la siguiente fórmula (ver fig. 2.2 a).

$$l = R \sqrt{2} \quad (2.15)$$

l = Distancia entre aspersores.

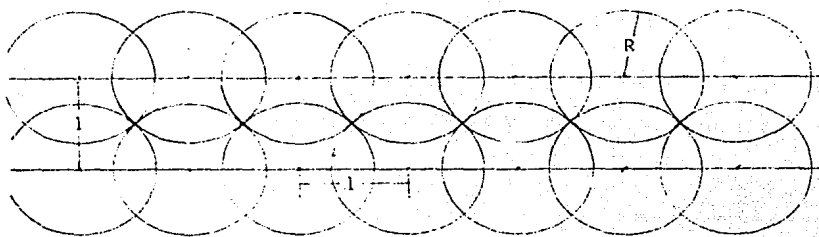
R = Radio del círculo de riego.

b) Disposición en triángulo.

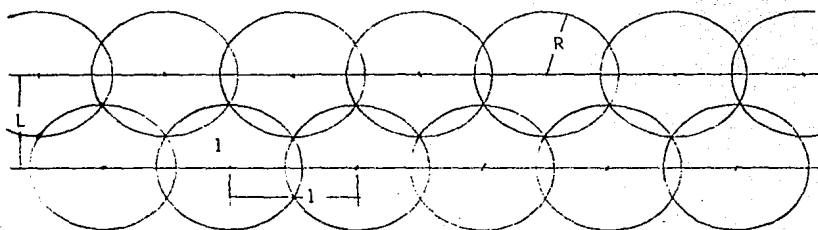
En donde se utilizan las siguientes fórmulas (ver fig. 2.2 b).

$$l = R \sqrt{3} \quad (2.16) \quad L = 1.5 R \quad (2.17)$$

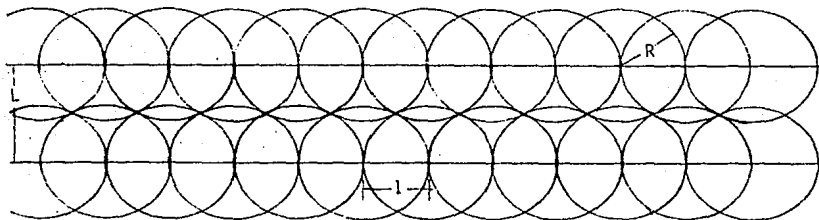
L = Distancia entre líneas laterales.



a) Disposición en cuadrado.



b) Disposición en triángulo.



c) Disposición en rectángulo.

Fig. 2.2 Tipos de disposición de los aspersores.

Fuente: D'at de Saint-Foulc, 1975.

c) Disposición en rectángulo.

Para ésta se utilizan las fórmulas siguientes (ver fig.-  
2.2 c) (Berlijn, 1985):

$$l = R \quad (2.18)$$

$$L = 1.7 R \quad (2.19)$$

De estas disposiciones la más usual es la de en cuadrado, pues la disposición en triángulo aunque presenta mayor recubrimiento su implantación sobre el terreno suele tener algunas dificultades, la disposición en rectángulo se utiliza frecuentemente en regiones con vientos claramente dominantes (D'at de Saint-Foulc, 1985).

#### 2.3.5 Revisión de Sobrepresiones.

Gómez (1981), señala que las sobrepresiones en una tubería, comúnmente llamadas golpe de ariete, pueden ser producidas por múltiples causas, entre las cuales se pueden destacar: el corte de energía y parada o arranque de los motores, la apertura o cierre de una válvula de derivación; la eliminación de aire, el llenado de las conducciones y la puesta en carga, desensamblado accidental de tuberías, entrada en resonancia de una compuerta a medio cerrar, etc.

Las enormes sobrepresiones que ocasionan a veces en una conducción la alteración brusca del fluido líquido, quedan muy disminuidas en una tubería que tenga colocados suficientes aspersores en servicio. Pero las tuberías que aún perteneciendo a una red de aspersión no están colocadas a estos elementos en funcionamiento, pueden sufrir los efectos del golpe de ariete igual que si se tratara de otra instalación cualquiera (Gómez, 1981).

En México, varias compañías recomiendan calcular la sobrepre -

siones en tuberías de PVC con las siguientes fórmulas (Plásticos Rex, 1971).

$$h = \frac{a v}{g} \quad (2.20)$$

h = Sobrepresiones en m.c.a.

v = Velocidad del agua en m/seg.

g = Aceleración de la gravedad (9.81 m/seg<sup>2</sup>).

a = Velocidad de la onda.

El factor a, se calcula con la siguiente fórmula:

$$a = \frac{1420}{\sqrt{1 + (k/E) (d/e)}} \quad (2.21)$$

d = Diámetro interior en cm.

e = Espesor de la pared en cm.

E = Módulo de elasticidad del PVC (tipo 1, grado 1) =  
= 3.0 x 10<sup>4</sup> Kg/cm<sup>2</sup>.

k = Módulo de compresión del agua = 2.06 x 10<sup>4</sup> Kg/cm<sup>2</sup>.

### 2.3.6 Selección del Equipo Motobomba.

El tipo de bomba debe elegirse cuidadosamente para la instalación particular que se precise (Hogg et-al, 1981), por ello la elección de la bomba debe hacerse conociendo el gasto de agua necesario y la carga dinámica total (Gurovich, 1985).

El gasto es aquél que se precisa en el origen de la tubería principal (Gómez, 1979). La carga dinámica total (H<sub>T</sub>) se determina sumando todas las cargas parciales, a saber: carga de

succión o distancia vertical sobre la fuente de abastecimiento y la bomba ( $H_s$ ); pérdida de carga por fricción en la tubería principal ( $H_L$ ); pérdida de carga por fricción en las laterales ( $H_l$ ); diferencia de elevación entre la bomba y el sitio de descarga más elevado ( $H_e$ ); presión de operación requerida por los aspersores ( $P_a$ ); y las pérdidas menores de carga por accesos ( $H_m$ ) (Gurovich, 1985).

$$H_T = H_s + H_L + H_l + H_e + P_a + H_m \quad (2.22)$$

La bomba puede ser fija o móvil y puede ser accionada por medio de un motor eléctrico, a través de la toma de fuerza de un tractor o por un motor de combustión interna (Hogg et-al, 1981).

La selección de las bombas centrífugas es muy simple y su costo de adquisición y mantenimiento es bajo. Por estas y otras razones las bombas centrífugas son generalmente las más apropiadas para los esquemas dados de riego, aunque otro tipo de bombas se utilizan en circunstancias especiales (Hogg et-al, 1981).

La elección de la fuerza impulsora de la bomba depende: de si la bomba es fija o móvil, del costo de suministro de energía eléctrica y del mínimo capital invertido (Hogg et-al, 1981).

Por lo general, los motores eléctricos se eligen siempre que sea posible, pues son relativamente baratos y de bajo costo de mantenimiento (Hogg et-al, 1981).

Según Novelo (1982), conocida la  $H_T$  y el caudal  $Q$  que se debe conducir en el sistema, la potencia requerida en el equipo de bombeo expresada en HP será:

$$HP = \frac{Q H_T 1\ 000}{76 E} \quad (2.23)$$

HP = Caballos de potencia.

Q = Caudal en m<sup>3</sup>/seg.

H<sub>T</sub> = Carga dinámica total en metros.

E = Eficiencia del equipo de bombeo (motor + bomba) en fracción decimal.

1/76 = Factor de conversión de Kgm/seg a HP

1 000 = Densidad del agua en Kg/m<sup>3</sup>.

Las bombas se seleccionan en base a sus curvas características que proveen los fabricantes de acuerdo a ensayos de laboratorio, dichas curvas representadas en un gráfico, relacionan: caudal-altura, caudal-potencia y caudal-rendimiento (Grassi, citado por Novelo, 1982).

Para seleccionar el motor, deberán tomarse en cuenta las pérdidas de potencia indicadas en la norma utilizada por el fabricante, así como sus curvas (Novelo, 1982) bajo ciertas consideraciones como son: altura sobre el nivel del mar, funcionamiento continuo, etc.

### 2.3.7 Equipo de Control.

El riego por aspersión en invernaderos puede automatizarse fácilmente en cierta medida, según las necesidades y el capital disponible. Esto puede ser muy conveniente cuando se trata de grupos grandes de invernaderos y el riego se realiza en sucesión, regándose cada vez varias cajoneras o semilleros, de acuerdo con la capacidad del servicio hidráulico, hasta que-

todo el conjunto quede regado (Pillsbury, 1968).

Los únicos cambios que se requieren para automatizar un sistema de riego por aspersión son: reemplazar las válvulas manuales por válvulas eléctricas o hidráulicas; adicionar alambre para el control de las válvulas y, un controlador apropiado a los tiempos de riego requeridos que se han proyectado (Rain - Bird Sprinkler MFG, 1971).

Por razones de seguridad las válvulas de solenoide (eléctricas), deben operarse a bajos voltajes (24 voltios); además, es conveniente elegir válvulas que permitan operación manual, así el sistema puede trabajar (a fines de inspección del sistema)-con un operador sin necesidad de volver al controlador para hacer operar una zona en particular (Hogg et-al, 1981).

Los controladores de secuencia son más útiles en invernaderos donde el suministro de agua es suficiente para regar una pequeña parte de la plantación a un tiempo. Estos aparatos automáticamente dirigen el agua de riego a zonas separadas de acuerdo a una secuencia predeterminada de operación sobre una base fundada de tiempo. La intervención manual es necesaria únicamente para preestablecer el tiempo de riego para cada zona (Hogg et-al, 1981)

#### 2.4 Aspectos Económicos.

Pillsbury (1968), señala como componentes del gasto directo total de un sistema de riego por aspersión, a la suma del costo de adquisición y a los gastos por concepto de funcionamiento y mantenimiento.



#### 2.4.1 Costo Fijo Total (Costo de Adquisición).

El costo fijo total lo componen:

a) Intereses.

En el caso de que el agricultor recurra a solicitar un préstamo para la adquisición del sistema, los intereses que por éste se ocasionen, es un desembolso real que debe considerarse dentro del costo del equipo. Si el agricultor utiliza su propio capital se utilizará como base el porcentaje de ganancia más probable que pudiera obtener en otra oportunidad de inversión.

b) Depreciación.

El valor de un equipo se deprecia debido a que queda anticuado con el paso del tiempo y al irse desgastando y averiando con el uso. Por consiguiente, el valor total de inversión inicial del capital debe irse amortizando, de año en año durante toda la vida útil del equipo para su sustitución para cuando sea necesario.

Además del desgaste normal, los componentes pueden depreciarse por algunas otras razones de operación o mantenimiento que los dejen inútiles.

Para las estimaciones preliminares, la vida de todos los componentes del sistema suelen estimarse entre 10 y 15 años y la depreciación se calcula en un 8% anual, aproximadamente de la inversión total.

En el cuadro 2.7 se indican algunos períodos de depreciación para ciertos componentes de un sistema de riego por aspersión.

Cuadro 2.7 Períodos de depreciación aconsejados para los componentes de un sistema de riego en regiones en que la temporada de riego es larga (6 a 12 meses).

Componente	Posible período de depreciación (años)	Período aconsejado. (años)
Tubería portátil de aluminio	5 - 20	15
Tubería portátil de acero galvanizado	5 - 15	10
Tubería enterrada de fundición y fibrocemento	20 - 50	35
Tubería de aluminio revestida	10 - 30	15
Tubería de plástico enterrada	10 - 50	35
Tubería de plástico expuesta al sol	1 - 5	3
Aspersores	1 - 10	7
Aspersores de paso de los aspersores	5 - 20	10
Llaves de paso de la canalización principal, de bronce	20 - 50	35
Pozo	5 - 50	20
Bomba	3 - 20	12
Unidades motrices:		
Motores eléctricos	10 - 30	20
Motores diesel	10 - 20	15
Motores de encendido de chispa y refrigeración por agua	4 - 20	10
Motores de encendido de chispa y refrigeración por aire	2 - 6	4

Fuente: Pillsbury, 1968.

#### 2.4.2 Funcionamiento y Mantenimiento.

Los costos por estos conceptos varían mucho de acuerdo a la eficiencia de cada aspecto operativo inherente y proyectado del sistema.

Para un planteamiento preliminar, se dan a continuación datos aplicables a la estimación de los costos anuales de funcionamiento y mantenimiento.

- a) Mantenimiento y reparación de aspersores y llaves de paso.  
A este renglón corresponde del 2 al 7% del costo original de los elementos, por año.
- b) Vigilancia y cuidado de la instalación.  
En el caso de sistemas accionados por motor eléctrico, este aspecto es insignificante.
- c) Costo de energía.  
Tratándose de sistemas de control y motores eléctricos, este inciso varía de acuerdo al costo unitario de la misma y al tiempo de operación del equipo.
- d) Lubricación y reparación de la instalación de la bomba.  
En este punto, no debe considerarse más de 5% del costo de adquisición de la instalación, si está accionada con motor eléctrico.
- e) Otros gastos.  
Aquí se consideran aspectos como impuestos y seguros relativos a la posesión y utilización del equipo.

### 2.4.3 Comparación Costo-Beneficio.

El objetivo primordial de la introducción del riego, es incrementar la producción agrícola. Sin embargo, el agricultor no deberá instalar un sistema de riego si el incremento estimado en el valor de la producción, no excede del costo adicional - por concepto del riego, incluyendo el desembolso del capital-inherente al equipo y a su operación y mantenimiento. En consecuencia, la decisión final en cuanto a la selección de un sistema de riego y al equipo correspondiente, depende de la - estimación sistemática del incremento de la producción agrícola y de los incrementos que puedan esperarse como consecuencia del riego (Pillsbury, 1968).

### 3.- MATERIALES Y METODOS.

#### 3.1 Descripción del Lugar.

El sitio del proyecto forma parte del predio que tiene como razón social: Rancho La Carolina, localizado en el municipio de Zitácuaro en el estado de Michoacán; a 2 Kms al oriente de la Heróica Ciudad de Zitácuaro. Dicho predio es propiedad del Ing. Norman Stockdale.

Las actividades que se desarrollan en esta propiedad son: en primer plano, el cultivo de crisantemo y pompón para su venta como flor cortada y la producción de follajes deshidratados; en segundo plano, el cultivo de aguacate.

El lugar que nos ocupa se encuentra situado a los  $19^{\circ} 23' 20''$  latitud norte y a los  $100^{\circ} 20' 51''$  longitud oeste, a una altitud de 2 020 msnm. (DETENAL, 1970).

Según la clasificación climatológica de Köppen modificada por García (1973), en lugar presenta un clima Templado Subhúmedo - con una precipitación media anual alrededor de los 800 mm concentrada durante el verano, su porcentaje de lluvia invernal es menor al 5%. Su temperatura media anual es alrededor de los  $18^{\circ} \text{C}$  y presenta como temperaturas máximas y mínimas extremas  $35^{\circ} \text{C}$  y  $-0.5^{\circ} \text{C}$ , respectivamente.

La topografía predominante en el lugar es de lomerío y la textura de su suelo es franca con una profundidad media (de 50 a 100 cm) (DETENAL, 1970).

El sitio destinado para la instalación del sistema de riego, - consiste en un invernadero de estructura de madera con cubier-

ta de polietileno (ver figs. 3.1 y 3.2), su forma aunque es rectangular con orientación norte-sur, se encuentra desviado sobre este mismo eje  $12^{\circ}$  hacia el noroeste (ver plano general).

Este invernadero se encuentra sobre una ladera de perfil cóncavo, presentando a todo lo largo un desnivel total de 8.35 metros, quedando su parte más alta hacia el lado sur (ver corte A - A' en el plano general).

Su piso es de suelo natural (franco), formando terrazas de altura variable con una anchura de 4 metros. En cada terraza se encuentra una cama de 30 m de largo por 3 m de ancho, con un cupo de 8 400 macetas de 10 cm de diámetro superior, cada una con una capacidad de  $190 \text{ cm}^3$ .

El número total de camas es de 21 y se pretende que todas ellas sean regadas por el sistema a diseñar, por lo que éste estará formado por 21 líneas laterales.

### 3.2 Caracterización del Agua de Riego.

El agua que se utilizará en el sistema de riego, se ha utilizado por varios años para el riego de huertas de: aguacate, guayaba y durazno, además del cultivo de crisantemo. La fuente, son varios manantiales que se encuentran juntos dentro de la misma propiedad.

El flujo de estos manantiales es reunido en una pequeña presa en la que se encuentra la casa de bombas, que esta compuesta por dos equipos de bombeo. Uno principal que consta de una bomba centrífuga impulsada por un motor eléctrico de 40 HP y otro auxiliar, compuesto por una bomba centrífuga impulsada por un motor diesel.

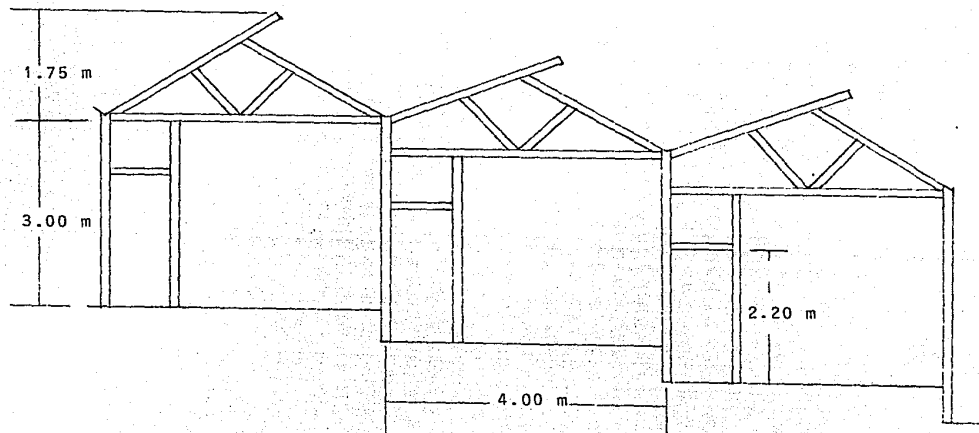


Fig. 3.1 Croquis parcial de la estructura del invernadero (vista frontal).

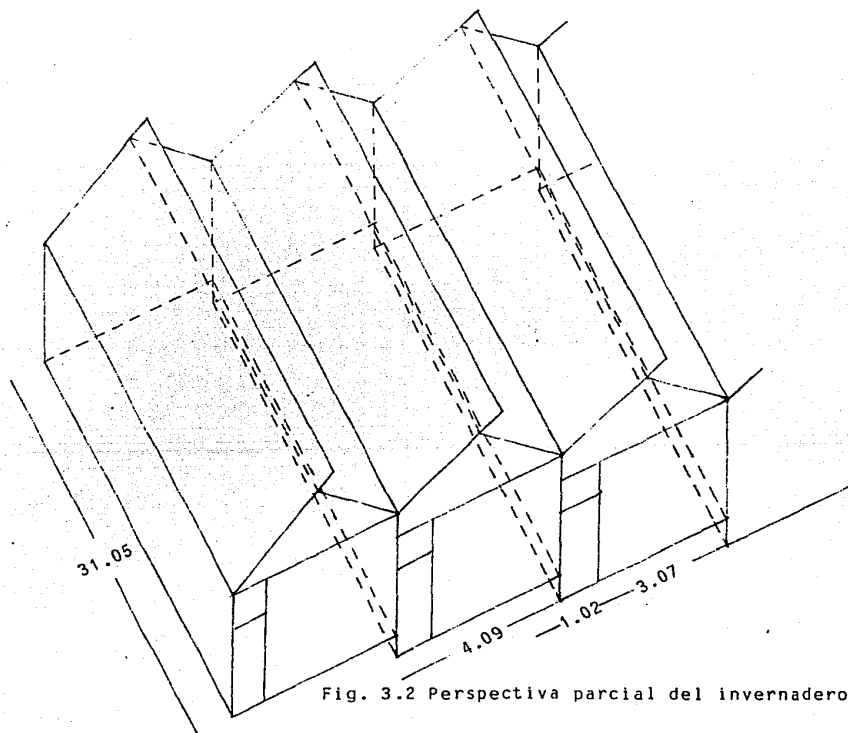


Fig. 3.2 Perspectiva parcial del invernadero.



Con este equipo, el agua de la presa es impulsada hacia un conjunto de 3 pilas que se encuentran en la parte más alta de la zona de cultivo, para de allí ser distribuida a través de canales a las pilas de las diferentes secciones, entre ellas la que nos ocupa.

Ahora bien, para determinar los valores de las características que determinan la calidad del agua, se utilizaron los siguientes métodos: para Conductividad Eléctrica se utilizó un puente de Wheatstone con electrodo de vidrio; para el pH se utilizó un Potenciómetro con electrodo de vidrio; para Carbonatos y Bicarbonatos, la Titulación con Fenoftaleína y Anaranjado de Metilo respectivamente; para Cloruros, la Titulación con Nitrato de Plata; los Sulfatos por el Procedimiento de Sulfato de Calcio; el Calcio y Magnesio por Titulación de Etilenediamine-tracetato (EDTA); y, Sodio y Potasio por el Método Flamométrico.

### 3.3 Caracterización del Suelo.

El sustrato que se utiliza en el sitio del proyecto para el cultivo de crisantemo, es una preparación que se hace manualmente combinando tierra del lugar (franca) o azolve de presa, con tierra de hoja de encino; esta preparación es tamizada, antes de ser utilizada en el llenado de macetas.

Para determinar las propiedades físicas de este sustrato, los métodos de análisis que se utilizaron fueron los siguientes: - para determinar la Textura, el Método Condesado del Hidrómetro de Bouyoucos; para la Densidad Aparente, el Método de Probeta en el Laboratorio; para Densidad Real, el Método del Picnómetro; para la Materia Orgánica, el Método de Walkley-Black.

Además de estas propiedades se determinaron: la Capacidad de - Campo (CC), el Punto de Marchitamiento Permanente (PMP) y la Humedad Fácilmente Aprovechable (HFA); tomando como modelo tipo la maceta utilizada en los trabajos de la sección del proyecto, y plantas de crisantemo de las variedades Golden Polaris y Flamenco con 9 días dentro de la sección.

La CC se determinó a las 12 horas después de haber realizado - un riego excesivo, tiempo al que ya no existía escurrimiento - alguno. El valor de HFA se obtuvo después de llevar el suelo a CC y dejar las muestras bajo condiciones normales del invernadero, hasta que las plantas bajo observación presentaron ligeros síntomas de marchitamiento (falta de turgencia en las ho - jas superiores).

Para determinar el PMP también se llevó el suelo a CC y se es - pero bajo sombreado la aparición de síntomas fuertes de marchi - tamiento, para luego pesar la muestra y realizar un riego muy ligero, esta secuencia se repitió cada vez que las plantas mos - traban recuperación a la deshidratación, regándose cuando la - muestra presentaba un peso menor que los anteriores, hasta que las plantas no mostraron recuperación alguna.

#### 3.4 Características de los Componentes del Sistema Adquiridos con Anterioridad.

Dentro del diseño de un sistema de riego es recomendable no ad - quirir material alguno sin tener definido cada componente que vaya a formar parte del sistema, ya que así es posible determi - nar cada uno de los componentes libremente, adecuándolos a las condiciones particulares del proyecto; en cambio, si se adqueren componentes antes de realizar o completar el diseño, la función de éste cambia de una selección de éstos para determi -

nadas condiciones a una adaptación de los componentes faltantes a los ya adquiridos.

Pero, aunque por una parte esta adquisición ocasione limitantes al diseño por otra, permite que esos componentes puedan probarse bajo las condiciones que rigen el proyecto, comprobando así las características que proporciona su fabricante y obteniendo valores más reales, los cuales se utilizarán en el diseño del sistema de riego.

#### 3.4.1 Microaspersores.

Los microaspersores son modelo Chapin, fabricados por Watermatics Inc., como son de tipo colgante van instalados sobre la línea como se muestra en la fig. 3.3.

Según especificaciones del fabricante estos aspersores tienen un gasto de 0.032 lt/seg., trabajan a una presión de 1.26 Kg/cm<sup>2</sup> (18psi), colocados sobre la línea a cada 1.5 metros y a una altura también de 1.5 metros proporcionan un diámetro de mojado de 3m y además poseen una válvula check para evitar goteos.

Al no proporcionar el fabricante datos sobre el rango de presión de operación y de la variación del gasto a diferentes presiones, se realizaron con este aspersor pruebas a diferentes presiones y alturas, para obtener el diámetro real de mojado y la sensibilidad del mismo, la cual será la base para las variaciones permisibles dentro del sistema.

#### 3.4.2 Válvulas Solenoides.

Son válvulas de dos vías marca Asco, modelo 8210; su construcción es normalmente cerrada cuando esta desenergizada y abier-

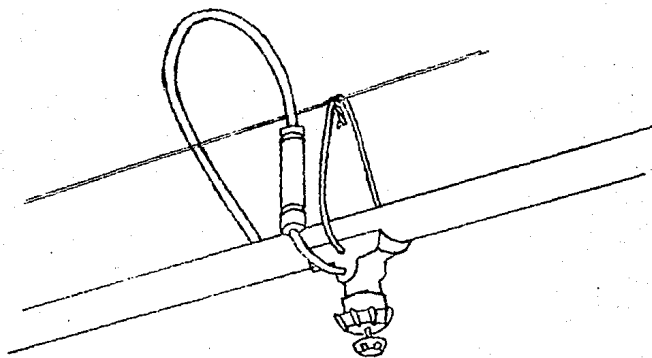


Fig. 3.3 Microaspersor colgante mod. Chapin.

Fuente: Gloeckner, 1985.

ta cuando se energiza, su cuerpo es de latón con conexiones hembra de 3/4", tienen un rango de presión de 0 a 125 psi, trabajan a 127 voltios  $\pm$  10% con un consumo de 11.2 watts.

#### 3.4.3 Controlador.

El controlador adquirido es de tipo electrónico, mod. 1626B, - fabricado por Phytotronics Inc., el cual trabaja a 24 voltios - y tiene 6 líneas independientes de control, con una capacidad - cada una de 20 watts.

Los tiempos de operación y de intervalo entre operación de cada línea son ajustables, teniendo un rango de 1 a 128 minutos - para tiempo de intervalo y de 0 a 32 segundos para tiempo de - operación. Durante su funcionamiento este controlador no opera más de una línea a la vez.

### 3.5 Metodología de Diseño.

La base del diseño de este sistema son los resultados obtenidos de las pruebas realizadas con el tipo de microaspersor adquirido, utilizando para ello los datos de presión de operación, gasto y sensibilidad del aspersor. Además se consideró el funcionamiento simultáneo de cuatro laterales, mismo que por cuestiones de manejo del cultivo resulta ser lo más apropiado.

En el diseño hidráulico se utilizó la información referente a diámetros y resistencias, de tuberías de PVC de dos fabricantes (Plásticos Rex y Tubos Flexibles), y se tomó como máximo de velocidad admisible 2 m/seg, que es la velocidad que D'at de Saint (1975), marca como límite para el diseño de sistemas de riego.

El programa de operación se realizó en base a las variaciones de presión que puede soportar el microaspersor sin que se altere la uniformidad del riego, por lo consiguiente la operación del sistema debe ajustarse a las características de dicho programa.

#### 3.5.1 Laterales.

En el diseño de laterales, la fórmula que se utilizó para el cálculo de las pérdidas de carga por fricción como tubería de flujo constante, es la proporcionada por los fabricantes de tuberías de P.V.C. que se consultaron, la cual es la fórmula de Manning modificada para tuberías de PVC que se describe a continuación:

$$H_f = \frac{10.3 n^2 L Q^2}{D^{16/3}} \quad (3.1)$$

- $H_f$  = Pérdidas de carga por fricción en m.c.a.  
 $Q$  = Gasto en  $m^3/\text{seg}$ .  
 $L$  = Largo de la tubería en metros.  
 $D$  = Diámetro interior en metros.  
 $n$  = Coeficiente de rugosidad para la fórmula de Manning ( el valor para las tubería de PVC es 0.009).

Luego para el cálculo de la lateral como tubería con salidas múltiples, se utilizó la fórmula 2.14, para por último obtener la presión requerida sobre la línea principal con la fórmula señalada por USDA (1972), que es la siguiente:

$$P_m = P_a + 3/4 P_f \quad (3.2)$$

- $P_m$  = Presión requerida en la tubería principal.  
 $P_a$  = Presión de operación del aspersor  
 $P_f$  = Pérdidas de presión por fricción  
 $3/4$  = Factor para considerar el promedio de  $P_a$  en el centro de la lateral en lugar de hacerlo en el extremo

El tramo de tubería que conecta las laterales con la línea principal (ver fig. 3.4), se considera parte de cada lateral, utilizando la fórmula 3.1 para el cálculo de sus pérdidas por fricción y la fórmula 2.13 para el cálculo de las pérdidas localizadas de los accesorios que en ella van instalados.

### 3.5.2 Línea Principal.

Para los propósitos que en este proyecto se persiguen y, por la cercanía que presenta la fuente de abastecimiento de agua con el área de riego, la tubería que va desde la fuente de abastecimiento hasta el área del sistema, se considera un com-

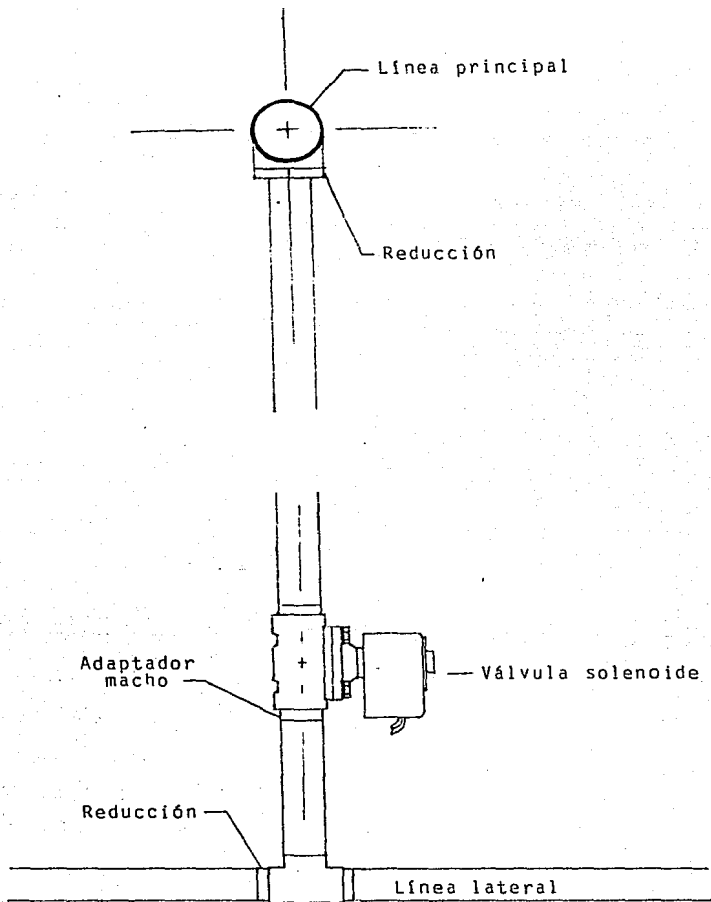


Fig. 3.4 Tramo de unión de las laterales con la línea principal.

ponente de la tubería principal (USDA, 1972).

Para el cálculo de las pérdidas de carga por fricción en esta parte del sistema, se utilizó la fórmula 3.1 para tuberías de flujo constante, utilizada en el diseño de las laterales.

El trazo de la línea principal se hizo hacia abajo de la pendiente predominante, de tal manera que las laterales quedan colocadas en forma de bifurcación.

En el lugar del proyecto, como en otros lugares en que la ganancia de carga de posición es superior a las pérdidas de carga por fricción, el problema radica en reducir la ganancia de presión, lo que se logra usando tubería de diámetro más pequeño, a fin de aumentar las pérdidas por fricción (USDA, 1972).- En este caso se trata de igualar lo más posible la ganancia de presión con las pérdidas por fricción, analizando al mismo tiempo todas las posibles alternativas de funcionamiento de las laterales.

### 3.5.3 Revisión de Sobrepresiones.

Dentro del diseño de una tubería es necesario asegurar que ésta sea capaz de soportar tanto las condiciones de trabajo como las sobrepresiones que puedan producirse dentro de ella, cualquiera que sea el material del que esté fabricada.

Para las tuberías de PVC existen diferentes rangos de resistencia clasificados por la relación: diámetro de tubería/espesor de pared, llamados normalmente RD.

En esta etapa del diseño es donde se hace el estudio de las posibles sobrepresiones a presentarse en el sistema, en los



diámetros de tubería ya escogidos para seleccionar en cada caso el RD adecuado.

En este diseño la revisión de sobrepresiones se realizó utilizando las fórmulas 2.20 y 2.21 mencionadas anteriormente.

#### 3.5.4 Equipo de Bombeo.

Para seleccionar el equipo de bombeo se definió primeramente el gasto, que es el requerido para el funcionamiento simultáneo de 4 laterales; después, se determinó la carga dinámica total por medio de la fórmula 2.22 para por último, con ambos resultados hacer el cálculo de la potencia del equipo con la fórmula 2.23.

Con estos tres datos se visitó al fabricante de equipos de bombeo Sistemas de Bombeo, S.A. de C.V. para seleccionar a través de las curvas de los equipos que manejan, el equipo de bombeo más adecuado para este diseño.

#### 3.5.5 Equipo de Control.

En esta parte del proyecto se buscó combinar los componentes adquiridos (válvulas solenoides y controlador), con los componentes que faltan para completar el equipo de control del sistema (reloj, relevadores de corriente, etc.), seleccionando los de los existentes en el mercado nacional.

Este equipo debe tener un mando de control cíclico y la intervención manual que se necesite, será para preestablecer el tiempo de riego de cada zona; además por cuestiones de seguridad deberá operar a 24 voltios.

### 3.6 Evaluación Económica.

#### 3.6.1 Vida Util del Sistema.

Para la determinación de la vida útil del sistema diseñado, se consideró por separado la vida útil de cada uno de los componentes que lo integran, la cual por diferir entre cada uno de ellos, se agrupan de la siguiente manera:

- a) Aspersores
- b) Válvulas de solenoide
- c) Tuberías
- d) Equipo de bombeo
- e) Equipo de control

Posteriormente se toma como vida útil del sistema, el tiempo - en el cual no es necesario realizar inversiones por arriba de los gastos normales de operación y mantenimiento del mismo, es decir, se estima como base la menor vida útil que presenta alguno de los componentes en la manera en que en este apartado - se han agrupado, tomando como referencia la información de sus fabricantes.

#### 3.6.2 Relación Costo-Beneficio.

Para establecer el costo total del sistema se toma el costo de adquisición, considerando que el capital necesario para la adquisición del equipo será proporcionado en su totalidad por el agricultor; a ello, se suman los gastos necesarios para su operación y mantenimiento durante la vida útil establecida para - el sistema, todo ésto a los precios existentes al momento de - la cotización del equipo.

Los beneficios que puede proporcionar el sistema diseñado, están estimados a través de toda su vida útil previamente establecida, para lo cual se tomará como base las condiciones de producción que actualmente se presentan con el método de riego utilizado (riego por manguera), dentro del invernadero del proyecto.

#### 4.- RESULTADOS.

##### 4.1 Resultados de los Estudios Preliminares.

A continuación se presentan los resultados de los estudios que fue necesario realizar antes de efectuar el diseño del sistema de riego por aspersión, y que sirvieron para desarrollarlo.

###### 4.1.1 Calidad del Agua.

Los resultados de los análisis realizados sobre las características que determinan la calidad del agua se muestran en el cuadro 4.1.

Según los resultados del análisis la calidad del agua es excelente; pues, con el valor de pH que presenta es un agua completamente neutra, es bastante pura por el contenido de sólidos disueltos y no presenta concentración alguna considerable de elementos químicos, por otra parte, tiene un RAS extremadamente bajo; por todo esto el agua analizada no causará problema alguno dentro del sistema de riego.

Dentro de la clasificación de USDA el agua analizada queda clasificada de la siguiente manera:

(C 1). Baja Salinidad.- El agua puede usarse para riego de la mayor parte de los cultivos, en casi cualquier tipo de suelo, con muy pocas probabilidades de que se desarrolle salinidad. Se necesita algún lavado pero éste se lo haga en condiciones normales de riego, excepto en suelos de muy baja permeabilidad.

(S 1). Baja en Sodio.- Puede usarse para la mayoría de los suelos con poca probabilidad de alcanzar niveles peligro-

Los cultivos susceptibles de sodio intercambiable. No obstante los cultivos susceptibles como algunos frutales y aguacates, pueden acumular cantidades perjudiciales de sodio.

Cuadro 4.1 Resultados del análisis del agua a utilizar en el sistema de riego.

Características	Valor
Conductividad eléctrica a 25° C	= 140 micromhos/cm
pH	= 7.08
Sólidos disueltos	= 89.6 p.p.m.
Aniones: CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	= 0 m.e./l
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	= 1.32 "
Cl <sup>-</sup>	= 0.32 "
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	= 0.15 "
Total	= 1.79 "
Cationes: Ca <sup>++</sup>	= 0.54 "
Mg <sup>++</sup>	= 0.70 "
Na <sup>+</sup>	= 0.18 "
K <sup>+</sup>	= 0.16 "
Total	= 1.58 "
Relación de adsorción de sodio	= 0.228
Clasificación según USDA	= C 1 - S 1

#### 4.1.2 Características del Suelo.

Los resultados de los análisis realizados sobre las características físicas del sustrato que se utiliza para el cultivo de crisantemo en el sitio del proyecto, se muestran en el cuadro 4.2, en donde puede observarse que dicho sustrato posee un alto contenido de Materia orgánica, lo cual explica los valores de porosidad, densidad aparente, densidad real y características de retención de humedad que presenta.

Cuadro 4.2 Resultados del análisis sobre las características físicas del suelo.

Características	Valor
pH	= 6.5
Textura	= Franca
Arcilla	= 22%
Limo	= 32%
Arena	= 46%
Estructura	= Granular
Densidad aparente	= 0.70 g/ml
Densidad real	= 1.72 g/ml
Porosidad	= 59.3%
Materia orgánica	= 5.8%
Capacidad de campo	= 61%
Punto de marchitamiento permanente	= 18%
Humedad aprovechable	= 43%
Humedad fácilmente aprovechable	= 25%

Con esta combinación de tierra franca y tierra de hoja de encino, se obtiene un sustrato ligero de alto contenido de Materia Orgánica, con buena aeración y alta capacidad de retención de humedad. Propiedades como éstas y más aún con el pH que presenta la muestra, son las adecuadas para el buen desarrollo del crisantemo.

#### 4.1.3 Pruebas de Presión del Microaspersor.

El cuadro 4.3 muestra las diferentes presiones y alturas a las cuales se probó el tipo de microaspersor adquirido, puede observarse en el cuadro que este aspersor funciona adecuadamente a una presión de 20 psi, en la que proporciona un gasto de 0.0266 lt/seg., tolerando una variación de presión de 2.5 libras por pulgada cuadrada, sin que se altere notablemente su funcionamiento.

Colocando este aspersor a una altura de 1.5 metros sobre la superficie regable, ofrece un diámetro de mojado de 3.1 m, cubriendo perfectamente el ancho de las camas de cultivo, la distancia entre aspersores será de 1.5 m.

Cuadro 4.3 Resultados de las pruebas de presión con el microaspersor.

Presión (psi)	Gasto (lt/min)	Diámetro de mojado (m)		
		a 1.20 m	a 1.50 m	a 1.70 m
12	1.21	2.05	2.00	1.90
18	1.48	2.90	2.95	3.05
20	1.60	2.95	3.10	3.20
22	1.70	3.20	3.10	3.00

psi = libra/pulg<sup>2</sup>.

#### 4.2 Resultados del Diseño.

Los estudios preliminares que se realizaron dentro del presente diseño de riego, proporcionan información sobre las características del suelo, agua y del microaspersor utilizados, y que se necesitó para la elaboración del diseño, como información o bien, como base del mismo.

De acuerdo a ésto, la calidad del agua se determinó a fin de prever los problemas que pudiera ocasionar en el sistema, en el cultivo o en el sustrato; mismos que por la excelente calidad que presenta el agua analizada son nulos con un buen manejo del sistema.

Por otra parte, el programa de riego que más adelante se describe, se basa en las características que presenta el suelo analizado, pues a partir de ellas se estimó el agua requerida por riego, así como el excedente necesario para dar al sustrato un lavado adecuado, a fin de que conserve sus demás características.

Ahora bien, los resultados de las pruebas de presión del microaspersor forman la base del diseño hidráulico de este proyecto, para el que se definió una presión de operación del aspersor - de 20 psi ( $1.4 \text{ Kg/cm}^2$ ), a la cual se obtiene un gasto de 1.6 - lt/min.; las laterales deberán colocarse a una altura de 1.5 - metros sobre la superficie regable para con éllo asegurar el riego homogéneo a todo lo ancho de las camas de cultivo que es de 3 m.

Al ser el utilizado, un aspersor que trabaja a baja presión, - su funcionamiento se ve fácilmente alterado por variaciones de presión, tanto en su gasto como en su uniformidad de riego; pa



ra evitar alteraciones de este tipo el sistema y sobretodo el programa de riego están estructurados sobre la base de 2.5 psi de tolerancia para las variaciones de presión dentro del sistema, con la que el funcionamiento de los microaspersores y del sistema en general no se ve afectado.

La finalidad de realizar el diseño hidráulico con la información proporcionada por 2 fabricantes de tubería hidráulica, fue la de poder tener una mayor flexibilidad tanto de datos para el diseño mismo, como de precios para la compra de material.

Estos proveedores fabrican tuberías que presentan diámetros muy similares entre si, por lo que ninguno ofrece material que presente alguna característica sobresaliente que mejore el diseño.

Cabe mencionar que los RD para determinados diámetros de tuberías son diferentes entre ambos fabricantes, aunque se trate del mismo diámetro, esto se debe a que ellos no fabrican todos los diámetros de tuberías en todos los RD clasificados; a pesar de que se tuvo que sujetar a esta limitante, las tuberías seleccionadas resisten satisfactoriamente las condiciones de operación y sobrepresiones del sistema.

En el factor económico, que es la otra parte decisiva para la elección del proveedor, ambos ofrecen todo el material hidráulico necesario para la instalación de este sistema con un precio total muy similar, siendo a fin de cuentas las condiciones y facilidades de pago lo que realmente decida el proveedor a tratar. Es por demás mencionar la seriedad de ambas compañías fabricantes de tuberías de PVC.

Con material de Plásticos Rex, las tuberías que deberán utili-

zarse serán: en las laterales tubo de 1/2" (13 mm) con RD 17, en la extensión que une las laterales con la línea principal - (ver fig. 3.4) tubo de 3/4" (19 mm) con RD 26, para la línea principal tubo de 1 1/4" (32 mm) con RD 26 y en la extensión de abastecimiento 1 1/2" (38 mm) con RD 26.

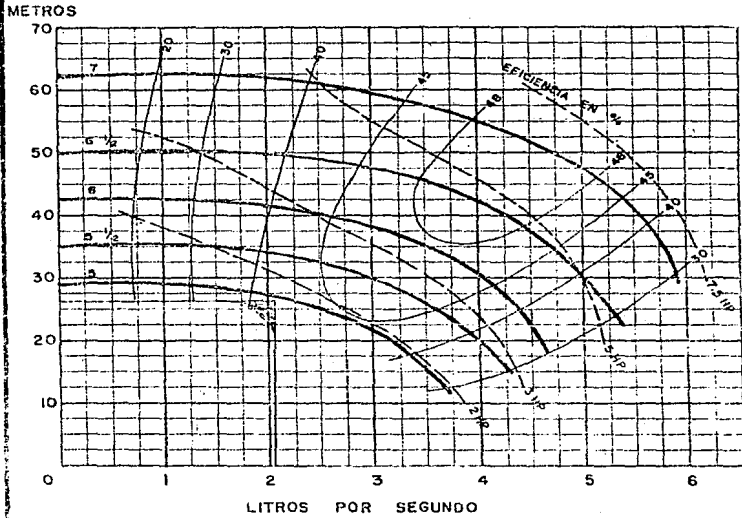
Usando material de Tubos Flexibles, las tuberías serán: en las laterales tubo de 1/2" (13 mm) con RD 13.5, la extensión de unión de las laterales a la línea principal 3/4" (19 mm) con igual RD, la línea principal de tubería de 1 1/4" (32 mm) y la extensión de abastecimiento con tubo de 1 1/2" (38 mm), con RD 26 y 32.5 respectivamente.

En cuanto al equipo de bombeo, se optó por consultar a Sistemas de Bombeo por ser la empresa que más variedad ofrece en equipos de esta clase, de la cual, se seleccionó para este sistema una bomba Ocelco 1FXL de transmisión universal y cuya curva se presenta en la figura 4.1.

Dentro del diseño del equipo de control se tuvieron los siguientes problemas: primero, aunque las válvulas de solenoide adquiridas si pueden utilizarse en el sistema, éstas trabajan a 127 voltios, lo cual por seguridad no se recomienda utilizar en sistemas de riego, también son válvulas que no poseen control manual por lo que forzosamente deben ser accionadas a través del solenoide, y en caso de descompostura o quemadura de la bobina de éste, el uso de la válvula se ve limitado.

Otro problema fue que aunque las válvulas operarán al voltaje recomendado (24 voltios) consumen 11.2 watts y teniendo un controlador que sólo admite 20 watts por línea, éste no alcanza a accionar todas las válvulas del sistema; pues sus 120 watts de capacidad están por debajo de los 235 que deben accionarse. Este problema queda resuelto agrandando la capacidad del contro-

MODELO: <b>1XL</b>	TAMARO: <b>1-1/4" X 1"</b> 32X254mm	IMPULSOR: <b>1 X L 1</b>	DIAM: <b>VARIOS</b>	R. P. M. <b>3450</b>
-----------------------	---	-----------------------------	------------------------	-------------------------



## ELECTRO BOMBA MODELO 1XL

Fig. 4.1 Curva característica de la bomba Oceloc 1XL.

**Sistemas de Bombeo, S.A. de C.V.**  
Hacienda de Juárez, México.

APROBADO: *[Signature]*  
ING. FENYVESI

FECHA:  
5-X-79

GRAFICA:  
**1211**

lador por medio de relevadores auxiliares.

El último problema es más grande que los anteriores, y es que el controlador tiene tiempos de operación demasiado cortos (0-32 seg.), y para cumplir con el tiempo de riego necesario - cada una de las seis líneas tendría que operar 31 veces por cada ciclo de riego, lo cual reduciría notablemente la vida útil del controlador y afectaría también la de las válvulas y relevadores.

La solución a esto sería, reajustar los tiempos de operación - del controlador alterando su funcionamiento electrónico, pero - esto no es nada recomendable porque puede dañarse parcial o totalmente su sistema.

Lo más adecuado para poder utilizar lo más posible el equipo - ya adquirido en el sistema de control es, cambiar la bobina de las válvulas solenoides para que puedan accionarse a 24 voltios y definitivamente no ocupar el controlador en el sistema, sustituyéndolo por otro u otros más apropiados.

En la fig. 4.2 puede observarse un diagrama a bloques del tablero de control, utilizando los componentes que se enlistan en la sección 4.2.1.4, que son los más apropiados para el funcionamiento adecuado de este sistema de riego.

Los precios que se enlistan a continuación, son precios netos-tomados en el mes de Abril, por lo que deberá consultarse a - los proveedores de dichos artículos en el momento en que se de see realizar la compra, para conocer nuevos precios, las condi ciones y facilidades de pago, descuentos, etc., que puedan pro porcionar, para ello sus datos se encuentran integrados en el apéndice 7.1.

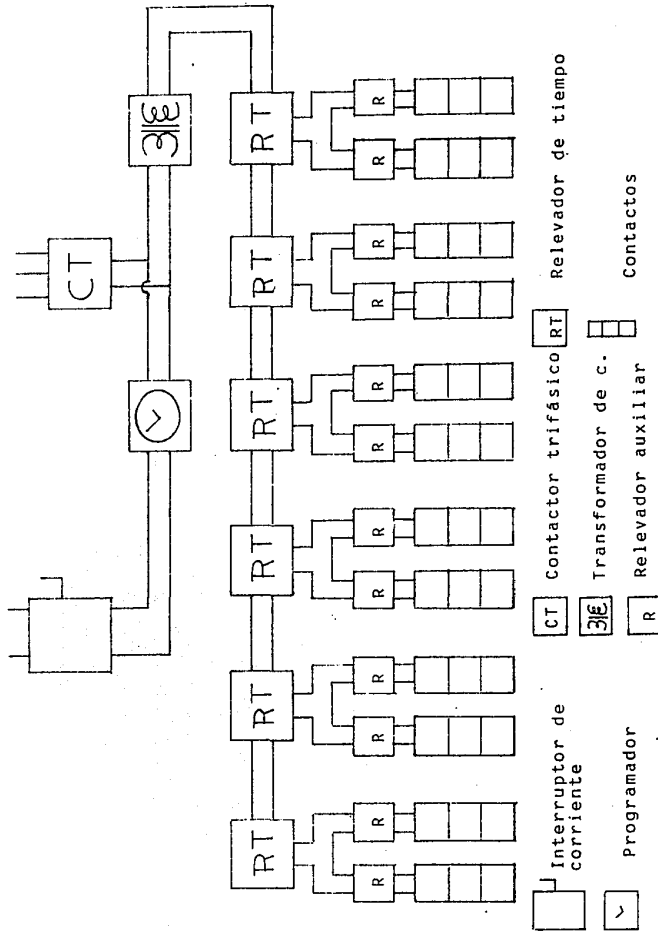


Fig. 4.2 Diagrama a bloques del tablero de control.

Los proveedores que se consultaron para realizar este proyecto, son de las empresas de mayor seriedad, mejor establecidas, con gran variedad de equipo y bastante experiencia; lo cual, hace que la información proporcionadas por ellas y que aquí se incluye, tenga un buen respaldo técnico.

#### 4.2.1 Lista de Materiales y Costos.

##### 4.2.1.1 Componentes previamente adquiridos.

Cuadro 4.4 Componentes previamente adquiridos utilizados dentro del diseño.

Cantidad	Unidad	Descripción	Precio unitario	Costo
441	pzas.	Microaspersor - colgante mod. - Chapin.	\$ 3 705.00	\$ 1 633 905.00
21	pzas.	Válvula solenoidal 3/4" 127 VCA 11.2 w.	61 290.00	1 287 090.00
Precio Total				\$ 2 920 995.00

## 4.2.1.2 Tuberías

Cuadro 4.5 Costo de la tubería.

Cantidad	Unidad	Descripción	Plásticos Precio unitario	Rex Costo	Tubos Flexibles Precio unitario	Costo
<b>Laterales</b>						
654	m.	Tubo 1/2" (13 mm)	\$ 556.00 <sup>2</sup>	\$ 363 624.00	\$ 557.00 <sup>1</sup>	\$ 364 278.00
91	pzas.	Cople 1/2"	455.00	41 405.00	372.00	33 852.00
42	pzas.	Tapa 1/2"	650.00	27 300.00	631.00	26 502.00
42	pzas.	Reducción de 3/4" a 1/2"	339.00	14 238.00	341.00	14 322.00
36	m.	Tubo 3/4" (19 mm)	858.00 <sup>3</sup>	30 888.00	861.00 <sup>1</sup>	30 996.00
21	pzas.	Tee 3/4" x 3/4"	1 020.00	21 420.00	1 026.00	21 546.00
42	pzas.	Adaptador macho 3/4"	392.00	16 464.00	396.00	16 632.00
<b>Línea Principal.</b>						
84	m.	Tubo 1 1/4" (32 mm)	1 160.00 <sup>3</sup>	97 440.00	1 165.00 <sup>3</sup>	97 860.00
21	pzas.	Tee 1 1/4" x 1 1/4"	1 964.00	41 244.00	1 974.00	41 454.00
21	pzas.	Reducción 1 1/4" a 3/4"	1 150.00	24 150.00	1 155.00	24 255.00
1	pza.	Tapa 1 1/4"	998.00	998.00	1 003.00	1 003.00
7	pzas.	Cople 1 1/4"	839.00	5 873.00	842.00	5 894.00
18	m.	Tubo 1 1/2" (38 mm)	998.00 <sup>3</sup>	17 964.00	1 532.00 <sup>4</sup>	27 576.00
3	pzas.	Codo 90° 1 1/2"	1 681.00	5 043.00	1 688.00	5 064.00
1	pza.	Reducción 1 1/2" a 1 1/4"	2 600.00	2 600.00	1 191.00	1 191.00
1	pza.	Cople 1 1/2"	996.00	996.00	1 005.00	1 005.00
1	pza.	Adaptador macho 1 1/2"	1 182.00	1 182.00	1 081.00	1 081.00
<b>Precio Total</b>				<b>\$ 712 839.00</b>		<b>\$ 714 511.00</b>

#...

Significado de las claves señaladas en el cuadro 4.5

1 = RD 13.5	3 = RD 26
2 = RD 17	4 = RD 32.5

#### 4.2.1.3 Equipo de Bombeo

Cuadro 4.6 Costo del equipo de bombeo<sup>1</sup>.

Cantidad	Unidad	Descripción	Precio unitario	Costo
1	pza.	Bomba Ocelco 1FXL (1 1/4" x 1" x 5") Trasmisión universal con motor US de 2 HP, - trifásico 2 polos.	\$ 731 375.00	\$ 731 375.00
1	pza.	Filtro en Y Rain Bird RBY - -075 con maya # 30 entrada-salida hembras 3/4".	33 950.00	33 950.00
3	m.	Tubo 1 1/4".	3 900.00	11 700.00
1	pza.	Válvula de asiento 1 1/4".	5 530.00	5 530.00
1	pza.	Codo 1 1/4".	1 050.00	1 050.00
1	m.	Tubo 1".	2 950.00	2 950.00
1	pza.	Tee 1".	1 400.00	1 400.00
1	pza.	Tapón macho 1".	330.00	330.00
2	pzas.	Cople 1".	490.00	980.00
2	pzas.	Reducción bushing de 1" a 3/4".	570.00	1 140.00
2	pzas.	Niple 3/4".	270.00	540.00
1	pza.	Tuerca unión 1".	2 690.00	2 690.00
1	pza.	Reducción campana de 1 1/2" a 1".	995.00	995.00
Precio Total				\$ 794 630.00

<sup>1</sup> Toda la tubería que integra este equipo es de construcción metálica, su ensamble se muestra en la fig. 4.3.



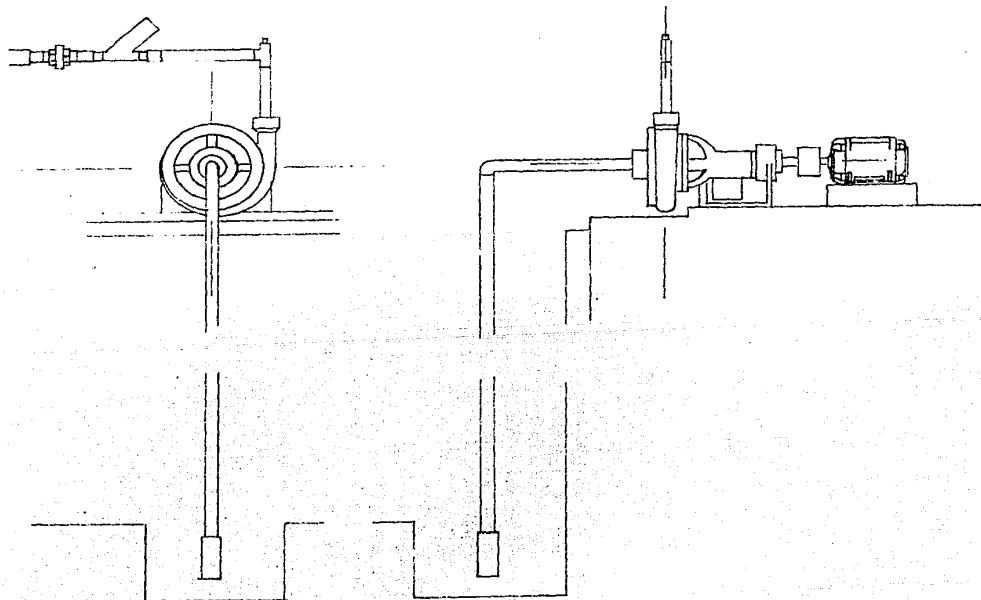


Fig. 4.3 Vista frontal y lateral del equipo de bombeo.

4.2.1.4 Equipo de Control.

Cuadro 4.7 Costo del equipo de control.

Cantidad	Unidad	Descripción	Precio unitario	Costo
1	pza.	Programador Theben SUL-186G de 24 hrs 127 VCA.	\$ 191 850.00	\$ 191 850.00
1	pza.	Contactador principal para corriente trifásica Siemens 127 VCA.	92 000.00	92 000.00
1	pza.	Transformador de - corriente Tort 127 VCA - 24 VCD 30 amperes.	78 775.00	78 775.00
6	pzas.	Relevador de tiempo Simonett, 0-30 min. 24 VCD.	43 165.00	258 990.00
6	pzas.	Base para relevador de tiempo - Schrack 8 polos.	4 410.00	25 460.00
12	pzas.	Relevador auxiliar Magnecraft 24 VCD 2P2T/30 AMP	14 400.00	172 800.00
21	jgo.	Contacto mariposa hembra y macho.	450.00	9 450.00
1	pza.	Interruptor de corriente 127 VCA 30 amperes.	7 000.00	7 000.00
1 900	mts.	Cable 2 polos # 20	105.00	199 500.00
21	pzas.	Bobina mod. 82104D 24 VCD 11.2 w.	16 549.00	347 529.00
Precio Total				\$ 1 383 354.00

Cuadro 4.8 Costo total del sistema de riego.

Descripción	Costo
Tuberías	\$ 714 511.00
Componentes previamente adquiridos	2 920 995.00
Equipo de bombeo	794 630.00
Equipo de control	1 383 354.00
Gastos de instalación (mano de obra)	200 000.00
Otros (sosten, fijación etc.)	75 000.00
<b>Total</b>	<b>\$ 6 088 490.00</b>

#### 4.2.1.5 Costo Total.

El costo total de este sistema de riego, resultó ser superior en el modo en el que se diseñó, al que hubiera tenido realizando el diseño sin la adquisición previa de las partes mencionadas.

Las causas principales fueron concretamente: la compra de bobinas para la adaptación de las válvulas solenoides, la selección del equipo faltante limitada por la necesidad de adaptación - con el equipo existente, la compra de componentes exclusivos - para adaptación (relevadores auxiliares), que bajo condiciones normales no se utilizarían, y el costo de los microaspersores - que frente a otros de igual utilidad fue mayor; ésto afectó mayormente el costo del equipo de control y el de los microaspersores.

#### 4.2.2 Programa de Operación.

El diseño de este sistema de riego se elaboró basándose en el funcionamiento simultáneo de 4 laterales, que por cuestiones de manejo del cultivo de este invernadero, resultó ser el más apropiado.

A partir de ello, pueden operarse en cualquier parte del sistema 4 laterales, siendo el único requisito que dichas líneas se encuentren agrupadas, como por ejemplo: las líneas 2, 3, 4 y 5; 10, 11, 12 y 13; 18, 19, 20 y 21; etc., pero en ningún momento deben operarse líneas arbitrariamente y/o de manera aislada, - por ejemplo: las líneas 1, 8, 16 y 21; 6, 10 y 20; ni tampoco sólo 1 ó 2 líneas.

Nunca debe olvidarse que este sistema se diseñó para operar a una presión de 20 psi y con un gasto de 2.2 lt/seg, y bajo - otras circunstancias, se presentan fuertes alteraciones de gasto y presión dentro de él y por consiguiente, forzamiento del equipo de bombeo.

En algunos casos pueden operarse grupos de 3 líneas o, una línea separada del grupo de 4 laterales, pero para obtener un - riego homogéneo será necesario siempre basarse en las alternativas de operación que se presentan en el cuadro 4.9, las cuales se estructuraron ajustándose a las variaciones de presión-permisibles en el sistema (2.5 psi).

Con ello la operación del sistema se facilita, pues por contar de 21 laterales es necesario operar tres tiempos de riego- funcionando en cada uno 4 líneas y otros tres tiempos de riego operando 3 líneas para cubrir un ciclo de riego.

La secuencia que deberá seguirse será, programar alternativa -

Cuadro 4.9 Alternativas de Operación.

No. de las laterales*																				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
									1	1	1		0	0	0	0	0	0	0	0
							1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
							1	1							0	0	0	0	0	0
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3											

88

4 = Válvulas que pueden operarse por series de 4, siendo como único requisito que sus números sean consecutivos, por ejemplo: 1, 2, 3 y 4; 15, 16, 17 y 18; 10, 11, 12 y 13 etc

1 = Válvulas que pueden operarse separadamente de un grupo de 4, para ello, deben operarse al mismo tiempo 3 válvulas con números consecutivos (0), por ejemplo: 11, 14, 15 y 16; 9, 17, 18 y 19; 8, 19, 20 y 21 etc.

3 = Válvulas que pueden operarse por series de 3, siendo el único requisito que sus números sean consecutivos, por ejemplo: 1, 2 y 3; 6, 7 y 8; 7, 8 y 9 etc.

\* = La numeración sólo es para identificación de las líneas y de las camas de cultivo, iniciándose ésta en la parte más alta del invernadero (ver plano general).

mente los tiempos de operación con 4 líneas con los tiempos de 3, con estas condiciones no tiene importancia en que parte del sistema se empiece o termine de regar, puede escogerse libremente las áreas que se prefiere regar primero, queda en manos del operador el programar la secuencia de riego del sistema.

Por otra parte, se requieren 46 ml de agua por cada maceta para poder llevar su humedad a Capacidad de Campo cuando las plantas presentan ligeros síntomas de deshidratación, necesitando 414 litros por cada cama con 9 000 macetas y 8 494 litros para efectuar un ciclo de riego en el sistema, siendo ésto el requerimiento neto de agua de éste.

Debe sin embargo considerarse que, el área de las macetas es circular y que la suma de dichas áreas no es igual al área total de riego, pues quedan espacios entre las esquinas de las macetas; por lo tanto, tenemos que la eficiencia de aplicación de este sistema es de 78.5%, valor que se redondea a 75% estimando la diferencia (3.5%) como pérdidas ocasionadas por evaporación y derrame en los márgenes de las camas.

Con todo ésto, el requerimiento de agua bruto del sistema es de 11 592 litros por ciclo de riego, pero como la pila sólo tiene un cupo de 11 520 litros habrá necesidad de elevar 5 cm las paredes de la pila, cosa que no alterará en ninguna forma el sistema y con lo que se tendrá 11 840 litros, asegurando así el agua necesaria para un ciclo de riego.

La frecuencia del riego con manguera ha variado de acuerdo a la época del año, dándose por día 2 riegos durante los meses de Abril, Mayo y parte de Junio y sólo un riego en los meses de Diciembre, Enero y Febrero, como el objetivo de éste y del sistema de este proyecto es el mismo (satisfacer las necesidades-

hídricas de las plantas), por la experiencia que se tiene con esa frecuencia habrá de tomarse como guía; además, se requiere por ciclo de riego un tiempo de 1 hora 44 minutos bajo las condiciones hasta ahora mencionadas, por lo que se dispone de tiempo suficiente para realizar más riegos que con el método de manguera en un día.

Hasta ahora, en este programa sólo se ha considerado el llevar la humedad de las macetas desde el punto inferior de Humedad-Fácilmente Aprovechable hasta su Capacidad de Campo, en lo cual no existirá problema alguno, porque bastará regar 17 minutos 16 segundos cada cama cuando se presenten los síntomas ligeros de marchitamiento. Pero, esta situación no siempre se presentará, habrá en determinadas circunstancias, necesidad de realizar riegos más ligeros sin que se presenten síntomas de marchitamiento, para lo cual será muy importante, si se desea aprovechar al máximo el sistema, evaluar el grado de humedad del sustrato para de allí calcular el tiempo necesario de riego para llevar la humedad del sustrato a su CC.

Esta situación deberá repetirse también, cada que exista algún cambio en la preparación del sustrato en la que se altere su capacidad de retención de agua.

#### 4.3 Resultados del Análisis Económico (Balance Costo-Beneficio).

El período estimado como vida útil para el sistema de riego que nos ocupa, es de siete años, considerando que durante este tiempo existe un desgaste normal del equipo y se le proporciona un mantenimiento preventivo adecuado a cada una de las partes que lo integran, sin que se necesite realizar gastos adicionales de inversión.

Ahora bien, el costo de adquisición del equipo es de

\$ 6 088 490.00, a lo cual debe sumarse los gastos ocasionados por operación y mantenimiento que son de \$ 606 606.00 en el transcurso de un año, el primer año de operación; todo ésto da un total de \$ 6 695 096.00 con precios vigentes durante el mes de Abril del presente.

Los beneficios cuantificables que puede proporcionar el sistema de riego durante el primer año de operación, se estiman tomando como base las pérdidas que existen en el cultivo por deficiencias de riego bajo el sistema actual, como un factor de seguridad se consideran las mínimas presentadas, que son para pompón de 9% y para crisantemo de 6%, en un solo ciclo de cultivo.

Por otra parte, los porcentajes de pérdidas consideradas con la operación del sistema diseñado, que son de 5.0% para ambos tipos por ciclo de cultivo, son las más altas que se pueden presentar, siendo ésto otro factor de seguridad para la evaluación económica del sistema.

Con las diferencias que existen entre los porcentajes anteriormente presentados y, calculando 47 y 46 ciclos de cultivo/año para pompón y crisantemo respectivamente, se obtiene una recuperación de 7 369 docenas de pompón y 450 de crisantemo, que a los precios que existían en el mes de Abril, representan una recuperación económica anual de \$ 18 290 881.00; con lo cual se cubre totalmente los gastos de adquisición, operación y mantenimiento del primer año del sistema de riego y deja una ganancia de \$ 11 595 785.00 al agricultor.

Por lo tanto, el costo total del sistema queda pagado en su primer año de operación, siendo la ganancia sobrante y los ingresos recuperables de los 6 años de vida útil restantes del sistema, menos los costos de operación y mantenimiento del mis



mo, una ganancia extra para el agricultor.

A pesar, del alto costo que representa la adquisición de este sistema, éste posee una gran elasticidad en la recuperación de la inversión, pues con el solo recuperar el 1.6% de las actuales pérdidas anuales de la planta tipo pompón, se obtiene el capital invertido en el lapso de un año y todavía deja un pequeño ingreso de \$ 80 057.00

Cabe mencionar el gran ahorro que existe, en cuanto a operación y mantenimiento se refiere, con la introducción del sistema de riego diseñado, ya que con él se consigue ahorrar anualmente - \$ 1 038 971.80, cantidad con la que por si sólo el sistema se pagaría en un lapso de 6.5 años, como se puede apreciar antes de que termine su vida útil estimada.

## 5.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

De acuerdo al objetivo planteado para la realización del presente proyecto y en base a los resultados obtenidos del mismo, surgen las siguientes conclusiones y recomendaciones.

1. El agua que actualmente se utiliza en el cultivo y que será utilizada en el sistema de riego presenta una excelente calidad, por lo que puede ser usada sin ningún riesgo de salinidad o de concentración de sodio en el suelo.
2. Las características físicas que posee el sustrato utilizado, como son: drenaje, aeración, retención de humedad, etc., son bastante apropiadas para el cultivo de crisantemo bajo el sistema de riego diseñado, no siendo necesario cambiar el tipo de sustrato para mejorarlo.
3. Este sistema está adaptado a las condiciones topográficas del lugar, a los requerimientos hídricos del cultivo y a sus condiciones de manejo, lo que da por resultado, que su operación este sujeta, con mayor razón, al programa establecido para poder asegurar la eficiencia del mismo.
4. Con la automatización lograda en este sistema, sólo se necesita la intervención manual para programar, el horario, el tiempo de aplicación y la secuencia del riego, lo que se realizará cuando el manejo del cultivo lo requiera y, por otro lado, el llenado de la pila y el mantenimiento preventivo - necesario.
5. Es necesario que la persona que realice, la inspección, el mantenimiento y la programación del equipo, tenga conocimiento del funcionamiento del mismo, así como de los requerimientos.

tos hídricos del cultivo, si se desea aprovechar al máximo los recursos con que cuenta este sistema.

6. Por ningún motivo es recomendable la adquisición de material para este tipo de sistemas antes de la realización de un diseño, o durante él, sin que se tenga definidos cada componente que integra el sistema, pues se corre el riesgo de elevar el costo total y/o que el material no se utilice dentro del sistema.
7. Actualmente en el mercado nacional existen gran variedad de componentes útiles para sistemas de riego, por lo que la importación debe limitarse a componentes que no tengan sustitutos nacionales o que no los importen directamente las compañías.
8. A pesar del alto costo de adquisición que presenta el sistema de riego diseñado, por destinarse a un cultivo que es altamente rentable; su costo puede ser absorbido en un corto-plazo, por lo ingresos que dicho cultivo presenta.

## 6.- LITERATURA CITADA.

- Anónimo. 1985. Posibilidad de Exportación de Flores. Agrosintesis. Vol. 16. No. 10. pags. 14 - 15.
- Anónimo. 1985. Cultivo de Flores en Invernadero. Agrosintesis. Vol. 16. No. 10. pags. 18 - 28.
- Benami A.y Ofen A. 1984. Irrigation Engineering. Irrigation - Engineering Scientific Publications. Haifa, Israel. 257 p.
- Berlijn Johan D. 1985. Riego y Drenaje. Manuales para educación agropecuaria. Area: suelos y agua. No. 35 SEP - Trillas. México. 100 p.
- Carvalho Garnica Sergio. 1975. Aplicación a la tasa de Rentabilidad Financiera en Proyectos Agropecuarios. SIRA. - México. 71 p.
- Cornell U. 1968. Chrysanthemums. Cornell University. New York, U.S.A.
- D'at de Saint-Foulc Jean. 1975. El Riego por Aspersión. 3a. Ed. Editores Técnicos Asociados, S.A. Barcelona, España. 252 p.
- DETENAL. 1970. Carta Topográfica. E 14 A 35 Zitácuaro. Esc: - 1:50 000. S.P.P. México.
- \_\_\_\_\_. 1970. Carta Edafológica. E 14 A 35 Zitácuaro. Esc: - 1:50 000. S.P.P. México.

- García M., E. 1973. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen para Adaptarlo a las Condiciones de la República Mexicana. 2a. Ed. UNAM. México.
- Gloeckner, F.C. 1985. Chrysanthemums Manual. 28a. Ed. Gloeckner Inc. New York, USA.
- Goldberg S., Dan 1971. Métodos y Técnicas de Riego. Centro Regional de Ayuda Técnica. México-Buenos Aires. 12 p.
- Gómez Pompa Pedro. 1979. Riegos a Presión, Aspersión y Goteo. 2a. Ed. Editorial Aedos. Barcelona, España. 279 p.
- \_\_\_\_\_. 1981. La Técnica y la Tecnología del Riego por Aspersión. 1a. Ed. Servicio de Publicaciones Agrarias. - España. 385 p.
- González Camacho Juan M. 1986. Sistema Interactivo para el Diseño Optimo de un Sistema de Riego por Aspersión. Tesis. Centro de Estadística y Cálculo. Colegio de Posgraduados. Chapingo. México. 94 p.
- Gurovich Luis A. 1985. Fundamentos y Diseño de Sistemas de Riego. 1a. Ed. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, San José, Costa Rica. 422 p.
- Hansen Vaughn E. 1980. Irrigation Principles and Practices. 4a. Ed. John Wiley & Sons. U.S.A. 417 p.
- Hinz W.W., Pair C.H., Prost K. y Reid C. (editores). 1975. Sprinkler Irrigation. 2a. Ed. Sprinkler Irrigation Association. Silver Springs. M. U.S.A. 444 p.

- Hogg W.H., Laflin R., Shipway G.P., Smith L.P. y Winter E.J.-  
1981. Sistemas de Riego. 3a. Ed. española. Acribia.  
Zaragoza, España. 196 p.
- Machin Barrie y Scopes Nigel. 1978. Chrysanthemums Year-  
Round Growing. 1a. Ed. Butler & Tanner Ltd. London,  
Great Britain. 233 p.
- Novelo Guizar Mario. 1982. Criterios para la Evaluación de -  
Proyectos de Financiamiento de Equipos de Riego por  
Aspersión. Tesis. Departamento de Irrigación. UACH.  
Chapingo, México. 233 p.
- Ortega Hernández J. Vicente. 1981. Riego por Aspersión. Bole-  
tín Técnico No. 23. Departamento de Irrigación. -  
UACH. Chapingo, México. 99 p.
- Pillsbury Arthur F. 1968. El Empleo del Riego por Aspersión.-  
FAO. Italia. 206 p.
- Plásticos Rex, S. A. 1971. Criterios de Diseño para Abasteci-  
mientos de Agua Potable Empleando Tubería de PVC. -  
México, D. F.
- Poirée Maurice y Ollier Charles. 1970. El Regadío. 2a. Ed. Ins-  
tituto Cubano del Libro. La Habana, Cuba. 346 p.
- Pulido Acuña Rubén y Del Valle F. Hebert. 1975. I. Instructi-  
vo para el Análisis de Suelos Salinos y Sódicos. II.  
Análisis de Aguas para Riego. Sección Riego y Drena-  
je. Departamento de Irrigación. ENA. Chapingo, Méxi-  
co. 19 p.

- Rain Bird Sprinkler MFG. Corporation. 1971. Sprinkler Irrigation Handbook. 30a. Ed. Glendora. California, U.S.A. 40 p.
- Reiley H. Edward y Shry Carroll L. Jr. 1979. Introductory Horticulture. 1a. Ed. Van Nostrand Reinhold Company. - U.S.A. 569 p.
- Rigau Alejo. 1986. Teoría y Práctica del Riego. Editorial Síntesis, S. A. Barcelona, España.
- Thompson Louis M. y Troeh Frederick R. 1980. Los Suelos y su Fertilidad. 1a. Ed. española. Reverte, S. A. España. 649 p.
- USDA. 1972. Riego por Aspersión 1a. Ed. Editorial Diana. México. 102 p.
- Withers Bruce y Vipond Stanley. 1980. Irrigation: Design and Practice. 2a. Ed. Vail-Ballou Press, Inc. Binghamton, New York, U.S.A. 306 p.
- Zimmerman Josef D. 1970. El Riego. CECSA. México. 604 p.

## 7.- APENDICE.

### 7.1 Proveedores Consultados.

#### 1. Tubería Hidráulica.

- a) Plásticos Rex, S.A. de C.V.  
Av. FF. CC. de Cuernavaca No. 434  
Col. Olivar de los Padres.  
México 01780, D.F. Apdo. Postal 20-459  
Tel. 595 31 00
- b) Tubos Flexibles, S.A. de C.V.  
Blvd. Toluca No. 40  
Naucalpan de Juárez, Edo. de México.  
C.P. 53500  
Tel. 358 70 66

#### 2. Válvulas de Solenoide.

- a) Válvulas y Accesorios Industriales, S.A. de C.V..  
Calle Central No. 1 Primer Piso. Esq. Victoria y  
Gusto Baz.  
Naucalpan de Juárez, Edo. de México.  
Tel. 560 40 23 y 373 07 58
- b) Calfer Naucalpan, S.A.  
Calle Nueva No. 192  
Col. Alce Blanco  
Naucalpan de Juárez, Edo. de México.  
Tel. 373 70 08



3. Equipos de Bombeo.

Sistemas de Bombeo, S.A. de C.V.  
Calle Negra Modelo No. 20  
Col. Modelo.  
Naucalpan de Juárez, Edo. de México.  
Tel. 560 51 00

4. Equipos de Control.

Ampere, S.A.  
Calle Angel Urraza No. 1838  
Col. Independencia  
México, D. F. C.P. 03630  
Tel. 672 43 77 y 539 72 99

5. Accesorios para Equipos de Riego.

Equipos y Accesorios Hidráulicos, S.A.  
Av. Universidad No. 654  
Col. Vértiz Narvarte  
México, D. F. C.P. 03600  
Tel. 559 25 44

6. Transformadores de Corriente.

Tort Gutiérrez Luis Angel  
Calle Lago Buenos Aires No. 20.  
Col. Argentina.  
México, D. F.  
Tel. 399 42 13

## 7.2 Memoria de Cálculo.

### 1. Microaspersor.

- Gasto = 1.6 lt/min (0.0266 lt/seg).
- Presión de operación = 20 psi (14.06 m.c.a.).
- Distancia entre aspersores = 1.5 m.
- Altura sobre el suelo 1.5 m.

### 2. Lateral. ( $H_l$ )

- Largo de la línea = 30 m dividida en dos ramales, uno de 14.25 m y otro de 15.75 m.

No. de aspersores = 21, 19 de  $360^\circ$  y 2 de  $180^\circ$ .

- Gasto = 0.533 lt/seg dividido en, 0.253 lt/seg para el tramo de 14.25 m, 0.280 lt/seg para el de 15.75 m.

Lateral	Tubos Flexibles	Plásticos Rex
	Tubo 1/2" RD 13.5	Tubo 1/2" RD 17
- Velocidad	1.12 m/seg	1.06 m/seg
- $H_f$ (flujo constante) fórmula 3.1	2.2 mca	1.96 mca
- $H_f$ (salidas multi - ples) fórmula 2.14 (siendo $F = 0.545$ )	1.2 mca	1.07 mca
- $H_f$ (en el extremo de la línea) fórmula- 3.2	0.9 mca	0.8 mca

Tramo de unión (fig. 3.4)	Tubos Flexibles Tubo 3/4" RD 13.5	Plásticos Rex Tubo 3/4" RD 26
- Velocidad	1.26 m/seg	1.20 m/seg
- $H_f$ (flujo constante) fórmula 3.1	0.18 mca	0.16 mca
- $H_m$ Te en divergencia fórmula 2.13	0.12 mca	0.13 mca
- $H_m$ Reducción de 3/4" a 1/2", fórmula - 2.13	0.01 mca	0,01 mca
- $H_m$ Válvula solenoide 3/4" fórmula 2.13	1.41 mca	1.41 mca
- $H_l$ (a la entrada de la lateral)	2.62 mca	2.51 mca

### 3. Línea principal ( $H_L$ ).

Línea principal	Tubos Flexibles Tubo 1 1/4" RD 26	Plásticos Rex Tubo de 1 1/4" RD 26
<b>Operando las laterales 18, 19, 20 y 21</b>		
En la lateral 18	$H_f = 9.27$ mca	$H_f = 8.89$ mca
	$H_A = 7.60$ mca	$H_A = 7.60$ mca
En la lateral 21	$H_f = 9.73$ mca	$H_f = 9.30$ mca
	$H_A = .8.35$ mca	$H_A = 8.35$ mca
<b>Operando las laterales 12, 13, 14 y 15</b>		
En la lateral 12	$H_f = 6.09$ mca	$H_f = 5.84$ mca
	$H_A = 5.65$ mca	$H_A = 5.65$ mca
En la lateral 15	$H_f = 6.55$ mca	$H_f = 6.26$ mca
	$H_A = 6.75$ mca	$H_A = 6.75$ mca

$H_A$  = Ganancia de presión debida al desnivel topográfico.

Línea principal	Tubos Flexibles Tubo 1 1/4" RD 26	Plásticos Rex Tubo 1 1/4" RD 26
-----------------	--------------------------------------	------------------------------------

Operando las laterales  
6, 7, 8 y 9

En la lateral 6	$H_f = 2.65$ mca	$H_f = 2.91$ mca
	$H_A = 2.60$ mca	$H_A = 2.60$ mca
En la lateral 9	$H_f = 3.11$ mca	$H_f = 3.37$ mca
	$H_A = 4.40$ mca	$H_A = 4.40$ mca

Tramo de abastecimiento	Tubos Flexibles Tubo 1 1/2" RD 32.5	Plásticos Rex Tubo 1 1/2" RD 26
- $H_f$ (flujo constante)	1.04 mca	0.97 mca
- $H_m$ Codo	0.06 mca	0.09 mca
- $H_L$	2.77 mca	2.35 mca

#### 4. Carga dinámica en la succión ( $H_S$ ).

- $H_m$ Válvula de pie	1.30 mca
- $H_m$ Te	0.16 mca
- $H_m$ Filtro	1.20 mca
- $H_m$ Codo	0.03 mca
- $h_S$ Altura de succión	2.20 mca
- $h_f$ Pérdidas por fricción	0.76 mca
- $H_S$	5.65 mca

## 5. Altura de elevación ( $H_e$ ).

-  $H_e =$

1.5 mca

## 6. Revisión de sobrepresiones (1 Kg/cm<sup>2</sup> = 10 mca).

Diámetro nominal	Tubos Flexibles	Plásticos Rex
1/2"	d = 1.780 cm e = 0.175 cm h = 57.0 mca RD = 13.5 (22.4 Kg/cm <sup>2</sup> )*	d = 1.830 cm e = 0.150 cm h = 50.0 mca RD = 17.0 (17.5 Kg/cm <sup>2</sup> )*
3/4"	d = 2.320 cm e = 0.175 cm h = 57.0 mca RD = 13.5 (22.4 Kg/cm <sup>2</sup> )*	d = 2.370 cm e = 0.150 cm h = 50.0 mca RD = 26.0 (11.2 Kg/cm <sup>2</sup> )*
1 1/4"	d = 3.850 cm e = 0.185 cm h = 68.0 mca RD = 26.0 (11.2 Kg/cm <sup>2</sup> )*	d = 3.900 cm e = 0.160 cm h = 62.0 mca RD = 26.0 (11.2 Kg/cm <sup>2</sup> )*
1 1/2"	d = 4.400 cm e = 0.205 cm h = 52.0 mca RD = 32.5 (8.7 Kg/cm <sup>2</sup> )*	d = 4.450 cm e = 0.190 cm h = 48.0 mca RD = 26.0 (11.2 Kg/cm <sup>2</sup> )*

\* Presión de Trabajo según Norma DGN E-12-68 (Plásticos Rex, - 1971).

7. Selección del equipo de bombeo ( $H_T$  y  $Q$ ).

- $H_S = 5.65$  mca
- $H_L = 2.77$  mca
- $H_1 = 2.62$  mca
- $H_e = 1.5$  mca
- $P_a = 14.06$  mca
- $H_m$  es considerada dentro de las pérdidas anteriores.

---

$H_T = 26.6$ mca	$Q = 2.16$ lt/seg.
------------------	--------------------

---

8. Cálculo del programa de operación.

- Volumen por maceta de agua requerida =  $46 \text{ cm}^3$ .
- Volumen neto de agua por cama = 414 litros.
- Eficiencia de aplicación = 0.75
- Volumen bruto de agua por cama = 552 litros.
- Volumen bruto de agua del sistema por ciclo de riego =  $11.592 \text{ m}^3$ .
- Tiempo requerido por posición =  $17' 16''$ .
- Número de posiciones del sistema por ciclo de riego = 6.
- Tiempo requerido por ciclo de riego = 1 hr 43 min 36 seg

9. Vida útil de cada uno de los componentes del sistema y tiempo estimado para el sistema.

- |                          |         |
|--------------------------|---------|
| a) Aspersores            | 7 años  |
| b) Válvulas de solenoide | 13 años |
| c) Tubería               | 15 años |
| d) Equipo de bombeo      | 20 años |
| e) Equipo de control     | 10 años |

Tiempo estimado para el sistema diseñado sin nuevas inversiones. 7 años

## 10. Cuantificación de costos anuales de operación.

### a) Costos de operación con el sistema actual de riego:

- Mano de obra (0.5 hr/día por lavado y preparado de pilas y 8 hr/día por riego, a un sueldo de \$ 3 045.00 por jornada.	\$	1 180 889.00
- Lubricación y mantenimiento del equipo motobomba de 1 HP, 5% del costo de adquisición		5 800.75
- Mantenimiento de mangueras de 100 - metros, 1% del costo de adquisición.		3 102.00
- Consumo de energía (8 hr/día)		37 713.00
- Fertilizantes		418 073.76
Costo anual de operación	\$	1 645 578.51

### b) Costo de operación con el sistema de riego diseñado:

- Mano de obra (0.25 hr/día por programación a un sueldo de \$ 5 000 - por jornada). (0.5 hr/día por lavado y preparado de pilas a un sueldo de \$ 3 045.00- por jornada).	\$	57 031.00
- Lubricación y mantenimiento del equipo motobomba de 2 HP, 5% del costo de adquisición.		69 464.06
- Mantenimiento de aspersores y válvulas, 5% del costo de adquisición		36 568.75
- Consumo de energía (1 hr 44 min/día)		146 049.75
- Fertilizantes		18 776.26
Costo anual de operación	\$	278 715.84
		606 605.66

## 11. Cuantificación de beneficios del sistema diseñado.

### a) Pérdidas estimadas bajo el sistema actual de riego:

pompón	9.0%
crisantemo	6.0%

### b) Pérdidas probables bajo el sistema de riego diseñado:

pompón	5.0%
crisantemo	5.0%

### c) Pérdidas recuperables con la instalación del riego diseñado.

pompón	4.0%
crisantemo	1.0%

### d) Parámetros de cálculo:

- Capacidad de operación del invernadero 70%

- Ciclos de cultivo por año:

pompón	47
crisantemo	46

- Número de camas plantadas por ciclo:

pompón	4
crisantemo	2

- Precios por docena al mes de abril:

pompón	\$	2 299.00
crisantemo		2 999.00

### e) Cantidad de planta anual recuperable:

pompón	7 369 docenas.
--------	----------------



crisantemo

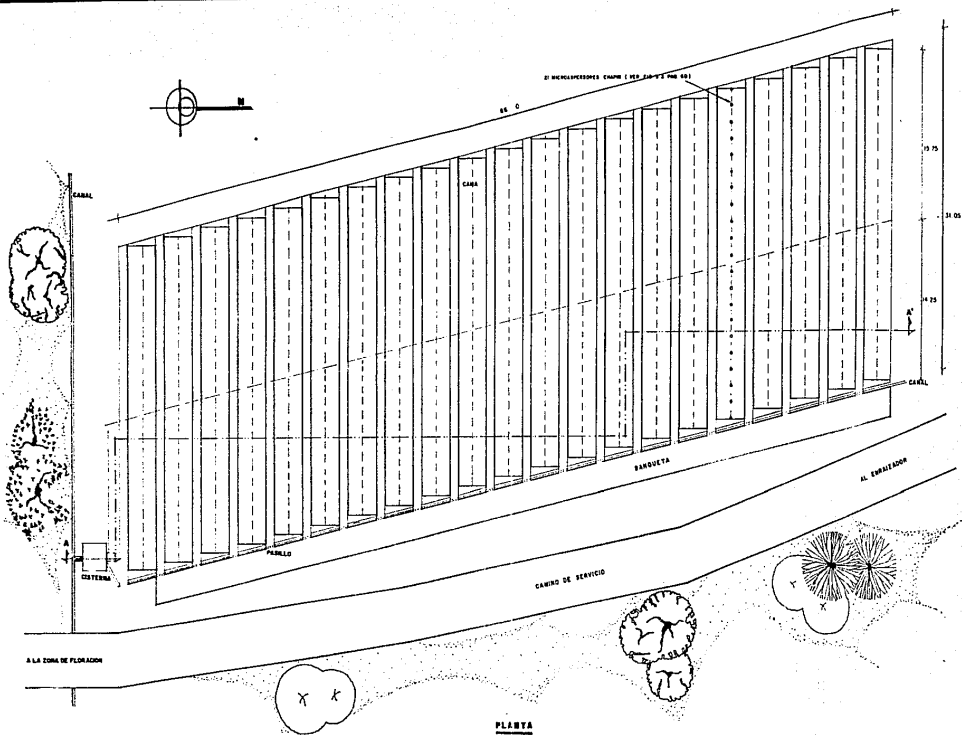
450 docenas.

f) Valor recuperable bajo el sistema de riego diseñado:

pompón \$ 16 941 331.00

crisantemo 1 349 550.00

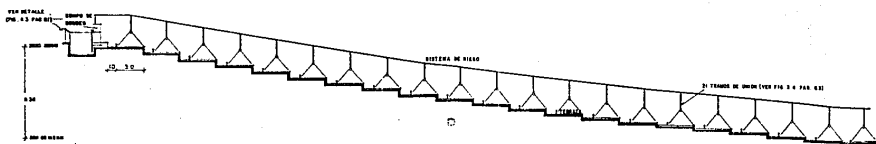
Valor anual recuperable \$ 18 290 881.00



LINEA PROPUESTA PARA SISTEMA DE RIEGO

----- LINEA PRINCIPAL  
 ..... LINEA LATERAL

PLANTA



CORTE A-A'

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
 CUAUTITLAN

PROYECTO: DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR  
 MICROSPERSON PARA CULTIVO DE CRISANTEMOS

PLANO GENERAL

ISAAC ABRAHAM RODRIGUEZ RODRIGUEZ

1980-1981

1980-1981

1981-1982