

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA  
“ANTONIO NARRO”**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA**



**DISEÑO, INSTALACIÓN Y OPERACIÓN DE UN SISTEMA DE  
RIEGO AUTOMATIZADO POR ASPERSIÓN**

**POR**

**GILBERTO EVERARDO CALVO VILLATORO**

**TESIS**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER  
ÉL TÍTULO DE:  
INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN**

**BUENAVISTA SALTILLO, COAHUILA., MÉXICO**

**Abril del 2000**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA  
“ANTONIO NARRO”**

**DIVISIÓN DE INGENIERIA**

**DISEÑO, INSTALACIÓN Y OPERACIÓN DE UN SISTEMA DE  
RIEGO AUTOMATIZADO POR ASPERSIÓN**

**REALIZADO POR:**

**GILBERTO EVERARDO CALVO VILLATORO**

**Que somete a consideración del H. Jurado Examinador como Requisito  
Parcial para Obtener el título de:  
Ingeniero Agrónomo en Irrigación.**

**APROBADA**

---

**Ing. Fernando Augusto Villarreal Reyna  
Presidente**

---

**Ing. Carlos Rojas Peña  
Sinodal**

---

**Dr. Raúl Rodríguez García  
Sinodal**

---

**Ing. Jesús R. Valenzuela García  
Coordinador de la Div. De Ingeniería**

**Buenavista Saltillo, Coahuila., México  
Abril del 2000**

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A MI ALMA MATER**

Con profundo amor y respeto que se merece, por haberme cobijado durante mi formación profesional, en sus aulas, laboratorios, con ella me siento comprometido para esforzarme al máximo para enfrentar los problemas del agro mexicano y con la sociedad de este gran país.

### **AL DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE**

Que con sus maestros me brindaron los conocimientos suficientes para seguir adelante en las actividades de estudiante y en mi superación personal.

### **AL ING. FERNANDO AUGUSTO VILLARREAL REYNA**

Por tenerme la suficiente confianza para llevar a cabo este trabajo de tesis. Por darme grandes consejos, por dedicarme su tiempo, para la revisión y cooperación de este trabajo de tesis y tratarme como aún amigo. Mis más sinceros agradecimientos.

### **AL ING. CARLOS ROJAS PEÑA**

Por su cooperación en la revisión y realización de este trabajo de tesis, por la confianza que depositó en mi persona.

### **AL DR. RAUL RODRIGUEZ GARCIA**

Por su gran cooperación, en la revisión de este trabajo de tesis y por los consejos durante mi formación profesional.

### **AL ING. DAVID MARTINEZ RIVERA**

Por su apoyo en mi trabajo de tesis, por sus grandes consejos, por brindarme su amistad y creer plenamente en mí, como un profesionista que tiene el suficiente carácter para dar soluciones a los problemas de nuestro agro-nacional

A todas aquellas personas que durante el largo camino de mi formación me han brindado un consejo que quedó dentro de mí para nunca olvidarlos.

## **DEDICATORIAS**

### **A DIOS**

Por haber permitido ser una pequeñísima parte de sus más grandes creaciones en este universo. Por haberme dado este don, por darme la oportunidad de realizar uno de mis más grandes sueños, una meta junto con mi familia y los que me rodean, por darme fuerzas para afrontar los problemas y levantarme sobre ellos.

### **A MI ABUELO EL SR, BARTOLO VILLATORO C.**

Este trabajo lo dedico a mi abuelo por haberme enseñado el buen camino de la vida, por forjarme con sus grandes enseñanzas y hacerme un hombre de bien. El que me decía de manera incansable que los hombres podemos alcanzar la plenitud como seres humanos cuando encontramos la paz interior y la paz con nuestros semejantes.

Yo sé que a él le hubiese gustado compartir conmigo este gran logro de mi vida. Pero donde quiera que el se encuentre sé que siempre estaría conmigo para apoyarme. Que dios lo mendiga y lo tenga en su gloria.

### **A MIS PADRES**

Por haberme dado lo más bello y maravilloso del mundo .....la vida. Por que soy una parte de ellos, ellos han luchado infatigablemente para darnos lo mejor, ellos nunca han cesado de aconsejarme ser un hombre de bien. A ellos quienes no puedo pagarles con nada. Ahora sé que también disfrutaban conmigo este paso importante en mi vida, gracias por haberme dado fortaleza para culminar con mi carrera profesional.

A ELLOS QUE LO SON TODO PARA MÍ.

**Sra. María Elena Villatoro Martínez**

**Sr. Gilberto Calvo Díaz**

## **A MIS HERMANOS**

Lorena  
Luis Alberto  
Jorge Raúl  
Mauricio Augusto

Por su gran apoyo moral y comprenderme en cada momento de mi vida, no puedo agradecer específicamente a uno de ellos por que a todos los quiero por igual, y todos hemos luchado juntos por nuestra familia.

## **A MIS TIOS**

Segundo Raimundo Villatoro M  
Angel de Jesús Villatoro M  
Augusto Calvo Díaz.  
Antonio Villatoro M  
Jaime de Jesús López.

Especialmente a mi tía Josefa Virginia Villatoro Martínez, por encontrar en ella una madre en los momentos más difíciles de mi vida, por el gran amor ofrecido y por el cobijo brindado.

## **A MIS PRIMOS**

Candelaria del Carmen López V.  
Julio Cesar  
Eder Alejandro  
Marvick Rogelio  
Eray

## **A MIS SOBRINOS**

Danny Guadalupe, Ricardo Cristiany, Fernando de Jesús., Por ser tres hermosos regalos de Dios, que han llegado a dar alegrías a mi vida. Espero que este trabajo le sirva como un motivo de superación en el futuro. Los amo.

### **A RICARDO MAUDALENO VELAZCO (mi cuñado)**

Por su gran apoyo moral brindado desde el inicio de mi carrera profesional, por sus consejos, y ser como un hermano más en mi familia. Espero que nunca cambies y sigas siendo una persona que vea y combata la injusticia entre nuestros semejantes.

A quienes me han brindado mucho amor, comprensión, me han escuchado cuando las necesito y han estado en todo momento, a ellas tampoco puedo pagarles con nada. Por que ellas son lo más maravilloso que Dios ha puesto en mi camino, son como las estrellas que reflejan su hermosa luz a un velero que lo necesita para navegar sobre las cristalinas aguas de los mares, con el único objetivo de alcanzar la plena realización de los sueños anhelados,

Gracias por compartir conmigo este gran momento de alegría en la realización de mi carrera profesional., Con lo único que puedo pagarles es con Amor.

**Isabel Concepción Báez Olivo**

**Giovana Tanith G. Báez**

### **A mis compañeros de la generación LXXXVIII de Ingenieros Agrónomos en Irrigación.**

Roberto Azorin, Enoc Casanova, José de Jesús, Jaime Zavala, Humberto Rodríguez, Jorge Martín, Mario Hernández, Miguel Angel, Luis Rodolfo.

Por su gran amistad durante nuestra formación profesional.

### **A MIS GRANDES AMIGOS**

Ediberto Vladimir Zuñiga G. Lisandro Fonseca G. Eduardo Chaires.

Noé Alexander Moreno C. Alejandro Reyes. Manuel López L. Julio Aguilar C.

**A todos muchas gracias  
de todo corazón**

## INDICE DE CONTENIDO

INDICE DE TABLAS.....	i
INDICE DE FIGURAS.....	ii
I INTRODUCCIÓN.....	1
II REVISIÓN DE LITERATURA.....	2
Objetivos Generales.....	3
Objetivos Específicos.....	4
2.1 Descripción del Cultivo (Rosales).....	4
2.1*Descripción del Cultivo (Pastos).....	5
2.1.1 Importancia en México de los rosales.....	5
2.1.1*Importancia en México de los pastos.....	6
2.1.2 Origen y Distribución de los rosales.....	6
2.1.2*Origen y distribución de los pastos.....	7
2.1.3 Clasificación taxonómica de los rosales.....	7
2.1.3*Clasificación taxonómica de los pastos.....	7
2.1.4 Descripción botánica de los rosales.....	7
a) La raíz.....	8
b) El tallo.....	8
c) La hoja.....	8
d) La flor.....	9
2.1.4*Descripción botánica de los pastos.....	9
2.1.5 Los rosales y sus necesidades hídricas.....	10
2.1.5*Los pastos y sus necesidades hídricas.....	11
2.2 Calendarios de riego.....	11
2.2.1 Indicadores de riego.....	13
2.2.1.1 Balance de humedad.....	15
2.2.2.1 Precipitación efectiva.....	16
2.2.2.2 Percolación profunda.....	17
2.2.2.3 Riego.....	18
2.2.2.4 Evapotranspiración.....	18
2.2.2.4.1 Utilidad de estimaciones de Et.....	21

2.2.2.4.2 Métodos para determinar Et.....	26
2.3 Riego por aspersión.....	31
2.3.1 Partes que integran un sistema de riego.....	31
a) Fuente de abastecimiento.....	31
b) Cabezal de control.....	31
b.1) Equipo de bombeo.....	32
b.2) Dispositivo de control.....	32
b.2.1) Válvulas de paso.....	32
b.2.2) Reguladores automáticos.....	32
b.2.3) Medidores de gasto.....	32
b.2.4) Manómetro.....	32
b.2.5) Controladores automáticos.....	33
b.2.6) Dispositivos de seguridad.....	33
b.2.6.1) Válvulas de retención.....	33
b.2.6.2) Válvulas de alivio.....	33
b.2.6.3) Ventosas.....	33
b.3) Accesorios del cabezal.....	33
c) Red de tuberías.....	33
c.1) Tubería principal.....	34
c.2) Tubería de distribución secundaria.....	34
c.3) Unidad de control automático.....	34
c.4) Sub-unidad de riego.....	34
c.5) Tuberías principales.....	34
c.6) aspersores.....	35
2.3.2 Ventajas y desventajas de un sistema de riego.....	35
2.3.2.1 Ventajas.....	36
2.3.2.2 Desventajas.....	36
2.3.3 Automatización de los sistemas de riego.....	40
2.3.4 Diseño del sistema de riego.....	42
2.3.4.1 necesidades hídricas.....	42

2.3.4.2	Consideraciones adicionales para el diseño.....	43
2.3.4.3	Selección del aspersor.....	44
2.3.4.4	Diseño hidráulico de la sección de riego.....	57
2.3.4.5	Diseño de las tuberías de conducción y distribución.....	58
2.3.5	Instalación del sistema de riego.....	61
2.3.5.1	Operación del sistema de riego.....	61
III	MATERIALES Y METODOS.....	62
3.1	Descripción del lugar.....	62
3.1.1	Fuente de abastecimiento.....	63
3.1.2	tipo de suelo.....	63
3.2	DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO.....	64
3.2.1	uso consuntivo.....	64
3.2.2	Diseño hidráulico de sección de riego.....	65
3.2.3	Diseño de las tuberías principal y distribuidora.....	76
3.3	Materiales.....	80
3.4	Instalación del sistema de riego.....	81
3.5	Calendarización del riego.....	81
3.5.1	determinación de la lluvia efectiva.....	82
3.5.2	Calculo para la determinación de la Etr.....	84
3.5.3	Calculo de la percolación profunda.....	86
3.5.4	Balance de humedad.....	87
3.6	Automatización del sistema de riego.....	88
IV	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	92
4.1	Resumen de los cálculos hidráulicos.....	92
4.2	Plano del proyecto.....	93
4.3	Requerimiento del riego.....	93
4.4	Balance de humedad.....	94
4.5	Automatización del sistema de riego.....	95
V	CONCLUSIONES.....	96
VI	RECOMENDACIONES.....	98

VII	BIBLIOGRAFIA.....	99
VIII	APENDICE .....	102

### INDICE DE TABLAS

Tabla No.		Pagina
Cuadro No. 2.1	Cantidad de agua consumida por los ornatos.....	11
Tabla No. 2.2	Evaluación cuantitativa de aparatos para monitorear el..... Volumen de agua en el suelo.	13
Tabla No.2.2.2	Coefficiente de cultivo Kc.....	25
Tabla No. 2.3	Valores de intervalo de humedad disponibles en los..... Diferentes suelos por unidad de profundidad y velocidad De infiltración máxima.	27
Cuadro No. 2.3.1	Características de operación de un aspersor (Hunter).....	29
Tabla No. 2.3.2	Niveles diferentes de automatización .....	38
Tabla No. 2.3.4	Factores a considerar para la selección de un sistema .....	45
	De riego.	
Tabla No. 2.3.5	Coefficientes de calculo del número máximo de salidas.....	56
Tabla No. 2.3.6	Coefficientes de cálculos de perdida de carga.....	57
Tabla No. 2.3.7	Selección del tamaño del cable para la válvula.....	61
	Solenoides.	
Tabla No. 3.1	Característica físicas y químicas del suelo “Santa María”..... Municipio de Ramos Arizpe Coahuila.	63
Tabla No. 3.2	Muestra la determinación del número máximo de salidas..... En la regante con pendiente en contra sección emisores.	65
Tabla No. 3.3	Determinación del número máximo de salidas en el .....	70
	Distribuidor con pendiente en contra.	
Tabla No. 3.4	Perdidas de carga en la conducción principal.....	78
Tabla No. 3.5	Perdidas en el sistema.....	79
Tabla No. 3.6	Carga total requerida.....	79
Tabla No. 3.7	Simulación de un balance de humedad para un periodo .....	87
	De 8 días	

Tabla No. 4.1	Resumen de los cálculos hidráulicos del Sistema de riego.....	92
Tabla No. 4.3	Balance de humedad para un periodo de 8 días.....	94
Tabla No. 5	Consumo comparativo de dos sistemas automatizado y mecánico..	97

## INDICE DE FIGURAS

No.	Figura	Pagina
Figura No. 2.2.1	Balance de humedad en sistema irrigado.....	14
Figura No. 2.2.2	Distribución de P para latitudes Norte..... ( P = porciento de horas luz)	24
Figura No. 2.3	Partes que integran un aspersor Hunter.....	30
Figura No. 2.3.1	Partes que componen un cabezal de control de..... Riego por aspersión.	31
Figura No. 2.3.2	Partes que componen un sistema de riego por ..... Aspersión (Peña 1992).	34
Figura No. 2.3.3.	Diagrama de un sistema de bucle abierto.....	39
Figura No. 2.3.3.1	Diagrama de un sistema de bucle cerrado .....	39
Figura No. 2.3.3.2	Sistema de bucle cerrado (opción utilizada).....	40
Figura No. 3.1	Ubicación del complejo industrial “Santa María”.....	62
Figura No. 3.2	Triángulo de texturas para la clasificación .....	64
Figura No. 3.6	Controlador híbrido.....	88
Figura No. 3.6.1	Válvula solenoide utilizada .....	90

## I.- INTRODUCCIÓN

En la actualidad de los 20 millones de hectáreas que en promedio se cultivan anualmente en México. Solo el 61% cuentan con equipos de riego (ICID. 1993). El valor de la producción en esta superficie es superior al 60% del valor total de la obtención nacional, lo que significa que en áreas con irrigación la producción es de 2.5 a 3 veces mayor a la que se obtiene las áreas de temporal. El riego es un factor importante en el desarrollo del país, más de la mitad de la producción agrícola viene de la agricultura en condiciones de riego.

Se aprecia que la eficiencia media de los riegos a nivel, nacional es de 70% de modo que al mejorar la aplicación a nivel unidad parcelaria se podría incrementar el ahorro sustancial del agua que puede ser usada para incrementar la superficie de riego. Para lograr lo mencionado, se tiene que estimar de forma muy precisa los requerimientos hídricos de los diferentes cultivos. Por los diferentes métodos existentes para determinar el contenido de humedad en el suelo y los calendarios de riego son de suma importancia en la agricultura ya que nos permite especificar la cantidad y frecuencia de los riegos para no desperdiciar el agua en riegos no necesarios, que a demás nos provocarían el lavado de los nutrientes y percolación profunda.

Por otro lado si consideramos los avances en las investigaciones en los sistemas de riego para el mejor aprovechamiento del agua se han logrado adoptar sistemas de riego de las que la optimización se adecuara a un hecho urgente la necesidad de hacer un mejor uso de los recursos agua-suelo, disminuyendo el riego de sobre explotación de acuíferos y los abatimientos de los niveles friáticos en las áreas de riego, se debe considerar como una solución importante para el manejo adecuado del agua, la introducción de técnicas de riego eficientes en el uso del agua y la energía, sobre todo en aquellas áreas donde el recurso hídrico es escaso y con una fuerte competencia para la aplicación, en lo que podemos situar la presencia de los sistemas de riego por aspersión

y micro riego como una alternativa en la cual. Las ventajas vienen a sustituir los sistemas de riego tradicionales, adecuándose a diversas condiciones del terreno.

Por lo mencionado, en las zonas áridas y semiáridas que presentan precipitaciones muy limitadas y con distribuciones discontinúas, mediante la investigación es necesario incrementar la eficiencia en el manejo y su uso, tomando en cuenta la operación de los sistemas de riego utilizados para irrigación.

El clima juega un papel muy importante ya que en muchas de las ocasiones nos permiten determinar con mucha exactitud, la cantidad y el momento de regar para tener las mejores condiciones a la producción. La automatización de los riegos implica conceptos fundamentales:

- a) La lámina correcta requerida por la planta
- b) La aplicación en el momento adecuado
- c) La programación de los tiempos de riego

La cuantificación de las láminas de riego a aplicarse es mucho muy conocida. Su justificación a optimizar el reuso de las aguas tratadas en áreas vegetales bajo climas semiáridos a través de la automatización teniendo como resultado una máxima eficiencia. Los algoritmos tradicionales. Pero ahora con el auxilio de los automatizadores y los complejos sistemas computarizados, lo cual es mucho muy sencillo incorporar grandes variedades de factores fundamentales que intervienen en los procesos de la irrigación, sobre todo para determinar los balances hídricos para periodos cortos o largos como se deseen, adaptables a las condiciones del clima.

El manejo de la información en periodos de tiempos cortos, abatiendo lo factores aleatorios se le conoce como manejo en tiempo real.

Uno de los pronósticos del riego en el tiempo real se define como la determinación e integración espacial de las necesidades de riego instantáneas, mediante el análisis temporal (diario) de las condiciones climatológicas, del estado hídrico del suelo, de las características fisiológicas del cultivo (resistencia a déficit en las diferentes fases fenológicas), del grado de desarrollo y de la influencia de las características propias de los sistemas de riego. Esto nos permite conocer de manera instantánea los volúmenes de

riego requeridos en cualquier punto de la red de distribución y de las diferentes necesidades de los diferentes cultivos en cualquier suelo y en cualquier lugar.

### **OBJETIVOS GENERALES**

Proyecto, diseño, instalación y operación de un sistema de riego automatizado, en el Complejo Industrial Santa María (Magna Internacional de México y Oxford).

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- ❖ Diseño del sistema por aspersión Automatizado
- ❖ Instalación del sistema por aspersión Automatizado
- ❖ Operación del sistema de riego Automatizado
- ❖ Calendarios de las necesidades hídricas
- ❖ Programación del equipo de automatización (timer)

Diseñar, Construir o instalar un sistema de riego por aspersión automatizado en el Complejo Industrial “Santa María” (Magna Internacional de México y Oxford).

Aplicando los conocimientos obtenidos durante la preparación profesional en la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”.

Así mismo capacitar al personal en la operación del sistema, proveerlos de manuales técnicos adecuados para su aplicación.

## II REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 DESCRIPCIÓN DEL CULTIVO DE ORNAMENTALES (ROSALES)

La producción de ornamentales, es una rama de la Floricultura dentro de la que se incluye una cuantiosa cantidad de especies conocidas e innumerables variedades que se han derivado de ellas. En los tipos no modificados por la jardinería estos arbustos son por lo general – salvo pocas excepciones – de follaje caduco, hojas compuestas con número impar de foliolos, estipuladas, bordes aserrados; tallos erguidos o sarmentosos, casi siempre provistos de agujones de forma y tamaño variables; tallo subterráneo que produce bajo tierra retoños aptos para multiplicar a la planta y por encima del suelo tallos aéreos que solo producen hojas durante la primavera o dos estaciones primeras. Las flores son rojas, blancas, o rosadas, formadas por cinco pétalos; en las variedades para jardines los colores se multiplican, como así el número de pétalos (en realidad son metaloides) que se producen por modificaciones de los estambres, dando lugar así a las flores dobles. En general los rosales crecen bien en todos los terrenos, pero las tierras frescas, sueltas y arenosas son las que más les convienen. Lo cual necesita disponer de suficiente pluviometría o posibilidades de riego para cubrir sus necesidades hídricas de los diferentes arbustos y siempre que el frío, si se produce, no sea tan intenso que pueda producirles la muerte.

### 2.1\* DESCRIPCIÓN DE LOS PASTOS

Los pastos que se utilizan en la arquitectura de jardinería son miembros de la familia “**papilionaceae**”, división leguminosae con miles de especies, de las cuales sólo son utilizadas 12 variedades para este fin, estas son principalmente plantas herbáceas o arbustos, con hojas pinadas y estipuladas, Los pastos por lo general son utilizados como plantas forrajeras para el pastoreo o para siega y muy poco para jardinería.

En los pastos utilizados en la jardinería la reproducción de los nuevos tejidos durante el crecimiento nace principalmente en la base de las hojas, donde es menos

probable que sufran daños debido al corte. Estos pastos mantienen su crecimiento vegetativo continuo, interrumpido solamente por sequía o frío, por lo que estas variedades se extienden por medio de los rizomas o estolones, que se forman con mucha facilidad raíces adventicias y proporcionan una rápida cubierta del terreno. El sistema radical une las partículas del suelo, formando un “Césped o Carpeta” y hacen florar las capas superficiales nutrientes que se filtraron hasta el subsuelo por las fuertes lluvias o por los riegos.

### **2.1.1 IMPORTANCIA DE LOS ORANAMENTALES EN MEXICO**

La practica de ornamentales en México es una importante fuente de divisas debido a la gran cantidad exportación de sus diversas flores, en cuanto a su buen tamaño y presentación en el mercado internacional tanto para corte como para maceta. Estas características en cuanto a calidad, son el resultado de las condiciones climáticas favorables de las zonas productoras de México.

De acuerdo a los datos obtenidos por el INEGI en 1988 el valor de la producción se ha incrementado de \$54 millones a \$181 millones, y el precio promedio en la producción por cultivador se incrementó hace cinco temporadas de \$157,000 a \$700,000, basándose principalmente en el incremento del precio de la flor destacando los estados de: Baja California Norte, Baja California Sur, Edo. de México, Michoacán, Puebla, Oaxaca, Guerrero, Chiapas, Veracruz y Coahuila.

### **2.1.1\* IMPORTANCIA DE LOS PASTOS EN MEXICO.**

La importancia de la producción de los pastos en México sé a tomado como una importante fuente de explotación en el ámbito agrícola para la alimentación ganadera del país. En jardinería, a pesar de todo en México no sea explotado cabalmente este recurso para este fin, debido en parte a que no se han establecido programas de producción, que nos permitan conformar un paquete tecnológico de producción que se adapte alas necesidades y facilidades como en el mercado europeo y el de los EE.UU.

Por otro lado, se carece de la infraestructura necesaria para la cosecha y beneficio de la semilla, así como la no-existencia de líneas crediticias de apoyo, para emprender un programa de producción de semilla en el ámbito comercial.

### **2.1.1\* IMPORTANCIA DE LOS PASTOS EN MEXICO.**

La importancia de la producción de los pastos en México se ha tomado como una importante fuente de explotación en el ámbito agrícola para la alimentación ganadera del país. En jardinería, a pesar de todo en México no sea explotado cabalmente este recurso para este fin, debido en parte a que no se han establecido programas de producción, que nos permitan conformar un paquete tecnológico de producción que se adapte a las necesidades y facilidades como en el mercado europeo y el de los EE.UU.

Por otro lado, se carece de la infraestructura necesaria para la cosecha y beneficio de la semilla, así como la no-existencia de líneas crediticias de apoyo, para emprender un programa de producción de semilla en el ámbito comercial.

## **2.1.2 ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN DE LOS ROSALES**

Las plantas ornamentales que se producen en México proceden, en su mayor parte, de las más diversas latitudes de la tierra. Tenemos las que provienen del trópico, las subtropicales, las de las montañas de Europa y Asia, las de las selvas y hasta de los desiertos.

Aunque la mayoría de los autores que han escrito sobre los rosales coinciden en afirmar que el origen de las rosas se localiza en Asia. Específicamente en China, en donde se extendió más tarde al Oriente Medio. Aunque Albertos (1969; escribe que el verdadero origen está en Asia Menor. En las mesetas del Irán, de Pamir, del Tíbet, en las montañas grandes del Altai y del Himalaya. Albertos (1969).

## 2.1.2\* ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN DE LOS PASTOS

Se estima que hay en el mundo cerca de 10.000 especies de pastos (gramíneas). De ellas se utilizan en forma apreciable unas cuarenta para el establecimiento de praderas. Y del cual estas forman parte de la flora indígena de las tres regiones principales del origen de los pastos en el globo terráqueo (Harley y Williams 1956), en los que destacan principalmente:

las zonas Eurosiánica en las que se encuentran 20 de las 40. especies más comerciales, Mientras que en la zona del África Oriental se encuentran 8 especies, y una región sudamericana subtropical, con 4 especies.

De las cuales de las cuarenta especies se han obtenido 12 variedades para el uso de la arquitectura de jardinería, estas variedades se distinguen entre sí principalmente por la disposición, forma y modificación de las escalas en miniatura, parecidas a

hojitas, que rodean a las flores; Mientras que las especies difieren, por lo común, en duración (anual, bienal, perenne), forma de crecimiento, tamaño y forma de los tallos, hojas y cabezas florales y su parte.

### **2.1.3 CLASIFICACIÓN TAXONOMICA**

El género de Rosa, de la familia de las rosáceas está muy difundido en todo el mundo y se le distingue fácilmente con relación a otros géneros, debido a sus

Características. Pero dentro de los límites de este género las características son muy variables.

Los ornatos de acuerdo a la sistemática empleada por Engler están ubicadas dentro del:

Reino.....

Vegetal.

División.....

Embriophyta Siphonogama.

Subdivisión.....

Angiospermas.

Clase.....

Dicotyledoneae.

Orden.....

Rosales.

Familia.....

Rosácea.

Subfamilia.....Rosoid  
eae.

Género.....Rosa

Especie.....spp.

### **2.1.3\* CLASIFICACIÓN TAXONOMICA DE LOS PASTOS.**

El género pasto de la familia de las Gramíneas está muy difundido en todo el mundo y se le distingue fácilmente con relación a otros géneros, debido a sus características. Pero dentro de los límites de este género las características son muy variables.

Los pastos de acuerdo a la sistemática empleada por Rodríguez. C. B. Y María del Carmen están ubicadas dentro del:

Reino.....

Plantae.

División.....

Antofita

Clase.....

Monocotiledonea

Orden.....

Glomiflorae

Tribu.....

festuceae

Familia.....

Poaceae

Subfamilia.....Estucoi  
dae.

Género.....Bromus

## 2.1.4 DESCRIPCIÓN BOTANICA

Aproximadamente 200 especies botánicas son nativas u originarias del Hemisferio Norte. Propiamente, la ocurrencia de la popularidad de los híbridos encontrados y el actual número de especies es una pregunta abierta. (Larson, 1980).

a) Raíz. Presenta una raíz primaria en forma de eje (fusiforme); la cual se desarrolla de la radícula del embrión. De esta raíz primaria se originan numerosas ramificaciones que contribuyen las raíces secundarias.

La raíz presenta estas características debido a que es una planta Dicotilédonea.

b) Tallo. El tallo del rosal puede ser derecho o inclinado; unas veces ramificado o sarmentoso, otros trepadores o derechos. Salen según la especie, el pie del arbusto y siempre del nudo vital. A veces salen del pie y

otras de la raíz. Las espinas se encuentran en los tallos y son producto del desarrollo de la epidermis en forma suberosa (acorchada) en la mayor parte de las especies éstas espinas estén recubiertas por una capa apergaminada y bien dura que casi siempre adopta la forma de uña curva. Estas espinas se separan fácilmente de la epidermis dejando una visible cicatriz. Los tallos son leñosos, persistentes y de corteza verde, gris o rojiza, según las especies y la edad de las mismas. (Gajón. 1950).

c) Hoja. Las hojas del rosal son alternas terminadas en número impar, los folíolos están profundamente aserrados y los limbos están estipulados en su base. Casi siempre son caducos y en muy pocos casos son persistentes (Gajón, 1950). Son compuestas y constan de 3,5,7 o 9 folíolos ovales,

acuminados, penninervios y de borde aserrado; Son imparipinados y con estipulas en la base (Ruiz, 1980).

d) Flor. Las flores del rosal son completas, actinomorfas, generalmente periginas, con el receptáculo elevado en sus bordes alrededor del gineceo y que lleva inserto los sépalos en la parte exterior y al mismo tiempo sostiene también los pétalos en la parte superior interna, donde también se encuentran los estambres.

#### **2.1.4\* DESCRIPCIÓN BOTANICA DE LOS PASTOS**

Aproximadamente de las 10.000 especies de pastos que existen la mayoría se concentra en as tres regiones antes mencionadas la ocurrencia de la popularidad de los híbridos encontrados y el actual

número de especies es una pregunta abierta. (Harley y Williams 1956).

a) Sistema Radical. El sistema radical de los pastos es de tipo fibrosa que une las partículas del suelo, formando un “césped o carpeta” y lo cual hace florar en las capas superficiales nutrientes que se filtraron hasta el subsuelo por las fuertes lluvias.

b) Tallo. El tallo de los céspedes, que lleva las hojas y las cabezas florales, es cilíndrico y a menudo hueco, excepto en los nudosos juntas, que son de tejido sólido. Las porciones huecas entre los nudos son lo entre nudos. En unos cuantos pastos, los entre nudos basales pueden ser bulbosos o estar hinchados. Los nudos forman los puntos de inserción de las hojas, que están dispuestas en dos hileras, alternándose en lados opuestos del tallo.

c) Hoja. La hoja de los pastos por lo general el limbo se ensancha con frecuencia en la base formando una especie de tallo, o bien, puede formar

proyecciones auriculares a ambos lados, lo cual nos genera la producción de nuevos tallos o renuevos dentro de las axilas de las hojas viejas es el método normal de ramificación en los pastos.

d) Flor. La cabeza floral o inflorescencia, al extremo del tallo, es con frecuencia una panoja que consiste en grupos de hojas extendidas, terminados en largas estructuras que se denominan espiguillas y se componen de una o más flores con escamas envolventes, que ocultan las flores a la vista, excepto en la época de la floración. Alternativamente, las espiguilla pueden estar unidas directamente por un pedúnculo al eje principal, cuando la cabeza floral es un racimo, o pueden nacer en el eje principal, cuando la cabeza floral se conoce como espiga.

## **2.1.5 NECESIDADES HIDRICAS DE LOS ORNATOS**

El agua es un factor muy importante en la producción de las diferentes variedades de ornatos, sobre todo en las zonas áridas y semiáridas, lo cual es esencial para obtener buenos rendimientos. Las plantas de ornatos absorben el agua desde el suelo y una pequeña cantidad de la misma queda como parte integrante de la planta, el resto desprendida hacia la atmósfera, principalmente por las hojas, en el proceso llamado transpiración. La transpiración cumple diversas funciones en la planta. Sirve como un medio de refrigeración de ésta y actúa como una especie de bomba para el transporte de la sabia, hasta las hojas.

Se calcula que los ornatos necesitan absorber del suelo entre medio y un litro por cada 10 gr. Que aumenta el peso de las plantas. La escasez de agua muchas de las veces provoca la muerte de los ornatos debido a que, a pesar de estar en el suelo húmedo, las raíces no son capaces de tomar agua con la misma

velocidad con que está pierde en la parte aérea. En las plantas adultas provocan el marchitamiento, los periodos repetidos y frecuentes de marchites pueden causar quemaduras marginales en las hojas o su muerte y caída prematura. Algunas variedades (Visa), desarrollan hojas curvadas y enrolladas. Otras sólo muestran un ligero amarillamiento. Sequías continuas, aunque no hasta el punto de marchitez. Hacen que la planta se vuelva leñosa, raquítica y de crecimiento lento.

Se han hecho varias investigaciones para poder determinar las necesidades hídricas de los ornamentales y estas dependen fundamentalmente de las condiciones climáticas de los cuales se resumen en la cuadro siguiente:

### **2.1.5\* NECESIDADES HÍDRICAS DE LOS PASTOS**

La necesidad de agua en los pastos es muy importante, así como la temperatura son los factores

más importantes para el almacenamiento de agua en los tejidos. De los cuales el contenido de humedad tiene más influencia en la longevidad de las hojas.

Se calcula que los pastos necesitan absorber del suelo entre 1 litro y 1 1/2 litro por cada 15 gr. Que aumenta el peso de las plantas. La escasez de agua muchas de las veces provoca la muerte de los pastos debido a que, a pesar de estar en el suelo húmedo, las raíces no son capaces de tomar agua con la misma velocidad con que está pierde en la parte aérea debido a la evapotranspiración.

Cuadro No. 2.1 Cantidad de agua consumida por los ornatos.

<b>Condiciones</b>	<b>Unidad</b>	<b>Total por</b>	<b>Autor</b>
	<b>Media de</b>	<b>Año</b>	
	<b>agua</b>		
	<b>consumida</b>		

<b>por día</b>			
<b>Condición Natural</b>	8.0 lt/m <sup>2</sup>	2.920 lt/m <sup>2</sup>	Seeley-Post 1950
<b>Con Acolchado</b>	8.0-11.0 lt/m <sup>2</sup>	2.90-4.015 lt/m <sup>2</sup>	Seeley-Post 1950
<b>En macetas de Plástico de 25cm.</b>	12.0-16.0 lt/m <sup>2</sup>	4.380-5.840 lt/m <sup>2</sup>	Shans 1968

## **2.2 CALENDARIOS DE RIEGO**

El objetivo esencial de la elaboración de los calendarios de riego es poder conocer los momentos más adecuados y la lámina requerida por los cultivos en sus diferentes etapas fisiológicas y estimar si el objetivo del riego es o fueron cumplidos, para llevar

acabo este objetivo se tienen que comprender los requerimientos hídricos de los cultivos, considerando los procesos Clima-Suelo-Planta, quienes controlan las decisiones de la irrigación, esto significa que una vez alcanzando la humedad en la zona radical, se tiene el nivel máximo permisible en su deflección, indicando el día en que debe efectuarse el primer riego al cultivo, La profundidad de la lámina de riego deberá de estar en función de la profundidad de la zona radical, asegurando el reemplazar la humedad deflecionada. Los demás riegos son calculados al continuar la proyección del crecimiento radical en el punto que alcanzo la humedad en la zona radical durante el riego anterior.

### **2.2.1 INDICADORES DE RIEGO**

En la actualidad hay muchos métodos para determinar el momento y la lámina a regar. Lo que hace posible realizar los calendarios de riego basándonos en indicadores climáticos, edafológicos, vegetativos o indicadores indirectos usando balances hídricos dentro del sistema agua-suelo-planta.

Los indicadores climáticos por lo general se basan en las variables climáticas, en las estimaciones de evapotranspiración puesto que toman en cuenta los efectos del tiempo que afectan el proceso de Et. Y dado a que se utilizan principios físicos, estos métodos incluyen explícitamente los procesos de radiación acumulada y otros parámetros climáticos pero no incluyen fenómenos de transporte. Los indicadores vegetativos por lo general se basan en la propiedad de los cultivos (coloración, temperatura, contenido de humedad, enrollamiento de sus hojas y función de los estomas), esto es con relación al estrés hídrico para saber en que momento regar.

Se conocen dos indicadores edafológicos se utilizan para conocer las condiciones energéticas del agua dentro del suelo, o también conocidas como tensiones, potencial mátrico (bloques porosos, tensiómetros), y los que nos dan información sobre el contenido de agua en los suelos (método gravimétrico, dispersión de neutrones y TDR).

La siguiente tabla nos muestra las ventajas y desventajas de cada uno de los métodos para determinar el volumen de agua en los suelos.

Tabla No. 2.2 Evaluación cuantitativa de aparatos para monitorear el volumen de agua en el suelo.

**(una clasificación de 10 es desfavorable y una clasificación de 100 es excelente)**

**Reportado por Ley T.W. y P.E ( 1994)**

		TD		AT	HPC	T	G	SG
<b>Aparato</b>	NP	R	GS	PC	P	M	B	B

<b>Costo inicial</b>	30	100	80	20	70	80	80	80
<b>Requerimiento de organización del lugar</b>	70	30	100	30	100	70	60	60
<b>Obtención de lecturas</b>	80	80	10	80	40	100	80	80
<b>Interpretación de lecturas</b>	100	100	100	100	30	50	30	50
<b>Precisión</b>	100	100	100	80	20	60	30	40
<b>Mantenimiento</b>	80	90	80	80	60	40	80	90
<b>Condicion</b>	30	90	60	70	90	70	50	80

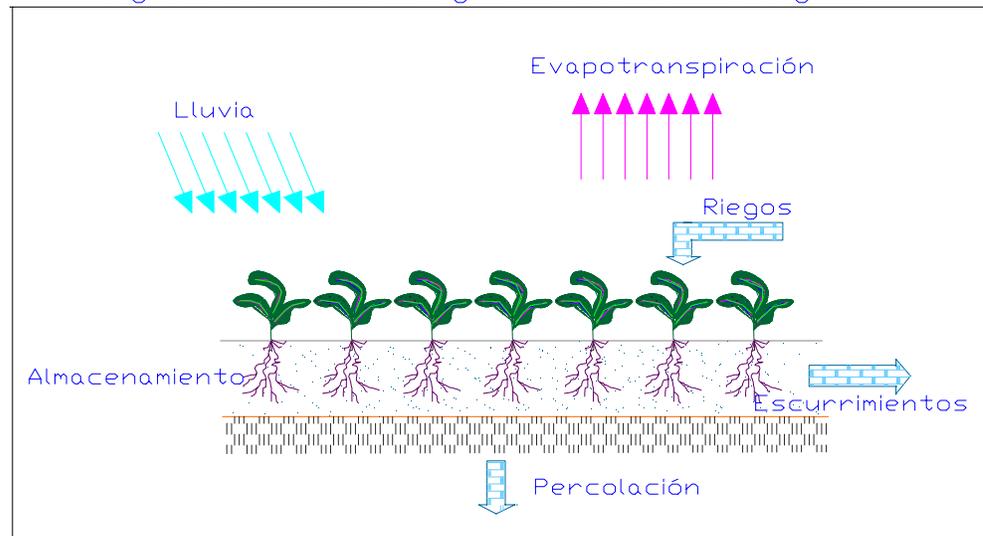
<b>es especiales</b>								
<b>Clasificaci ón</b>	50	50	50		40	49	45	50
NP= Sondeo de neutrones, TDR= Reflectomia de distancia de tiempo, GS= Muestreo gravimetrico, HPCP= Sondeo de capacitancia tipo varilla empujada mecánicamente, GB= Bloques de yeso, SGB= Bloques de yeso especial, TM= Tensiometro, ATCP= Sondeo de capacitación atreves de un tubo de acceso.								

### 2.2.1.1 BALANCE DE AGUA

Hacer un balance de agua en el suelo consiste en aplicar la formulación matemática de la ley de la conservación de la materia en este caso al agua, consiste en aplicación de ecuaciones como la de continuidad al suelo. La cual se expresa como:

$$\Delta VOL_{almacenado} = VOL_{entrada} - VOL_{salida}$$

Fig. No. 1 Balance de agua en un sistema irrigado



O sea que el cambio de volumen almacenado en el suelo es igual al volumen que entra al suelo menos el volumen que sale del suelo sobre periodos de tiempo dados. Los factores que contribuyen al balance de agua se muestran en la figura.2.2.1. Los influentes son precipitación y riego. Los afluentes son ET, escurrimientos y percolación. El balance normalmente se presenta por unidad de superficie y para un periodo de tiempo fijo mensual o diario. esto resulta en la ecuación siguiente:

$$Z_r \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \text{Riego} + \text{Lluvia} - \text{Et} - \text{Escu} - \text{Perc} \quad (2)$$

Donde:

$Z_r$  = Profundidad efectiva de la raíz

$\theta$  = Contenido de humedad

$\Delta t$  =Intervalo de tiempo (diario, mensual,etc.),

Riego =Volumen de riego por unidad de superficie durante el intervalo de

tiempo, usualmente llamado lamina de riego.

Lluvia =Volumen de lluvia por unidad de superficie durante el intervalo de tiempo.

Et =Volumen de agua evapotranspirada por unidad de superficie durante el intervalo

De tiempo.

Escu =Volumen de escurrimientos superficiales por unidad de superficie durante el intervalo de tiempo.

Perc =Volumen de agua que se transporta fuera del sistema por percolación durante

el intervalo de tiempo.

Los cálculos y la frecuencia y cantidad de agua de riego pueden hacerse en función de datos a corto plazo, usualmente promedio mensuales o promedios diarios. Las estimaciones a largo plazo utilizan datos históricos obtener una forma aproximada a la posible demanda del riego. Las estimaciones a corto plazo (diario) nos permiten el diseño y calendarios de riego de alta precisión, ya que las estimaciones a corto plazo son más precisas y obtenemos una mayor eficiencia en el uso del agua ya que el sistema responde día a día.

### **2.2.2.1 PRECIPITACIÓN EFECTIVA**

La diferencia entre la lluvia, el escurrimiento y la percolación se llama precipitación efectiva:

$$\text{Precip.Efec.} = \text{Lluvia} - \text{Esc} - \text{Perc}$$

(3)

Dado que para una lluvia cualquiera el suelo puede almacenar una cantidad limitada de agua (a la necesaria para pasar de su estado de humedad a capacidad de campo,) para fines prácticos, cuando hay precipitación la precipitación efectiva será siempre menor de la magnitud de precipitación o la cantidad de agua que se puede almacenar en el momento en que ocurra la lluvia.

$$P_e = \text{minimo} \left( \frac{P}{Zr(\theta_{cc} - \theta)} \right) \quad (4)$$

Donde:

$P_e$  = Precipitación efectiva

$P$  = Precipitación (Volumen/A) como profundidad  
de agua

$\theta_{cc}$  = Contenido de humedad a la capacidad de  
campo

$\theta$  = contenido de humedad en el momento en que  
ocurre la precipitación

La ecuación anterior supone que la relación entre la intensidad, duración de tormenta y las características de infiltración del suelo son tales que habría la oportunidad para que el perfil de suelo se recargue. La precipitación efectiva es la porción que puede llegar a estar disponible en la zona ocupada por las raíces de las plantas (Oliver 1963). Por lo tanto, el aprovechamiento de la lluvia depende de varios factores, tales como:

- a).- Intensidad, duración y distribución de la lluvia.
- b).- Velocidad de infiltración en el suelo.
- c).- Cobertura vegetal.
- d).- Topografía.

Es de gran importancia conocer la lluvia como fuente de abastecimiento para satisfacer las

necesidades hídricas del cultivo. En zonas de temporal, determinando la cantidad de lluvia se puede estimar la cantidad de agua que podrá ser utilizada por los cultivos y con ello programar los cultivos que se desarrollan adecuadamente.

#### **2.2.2.2 PERCOLACIÓN PROFUNDA**

La percolación profunda es considerada como la pérdida de agua, si el agua no recuperada, y que la cantidad de agua recuperada no es lo suficiente para los objetivos deseados en este caso para el riego. El movimiento de agua de los sistemas de riego en las diferentes capas del suelo localizadas después de la zona radical de los cultivos es un problema que podemos evitar en los suelos finos o pesados, esto es más difícil en aquellos suelos gruesos o ligeros. Además que es un riego improductivo.

También se producen otros trastornos con la percolación profunda como el arrastre de nutrientes,

saturación del mismo suelo al aumentar los volúmenes de agua de los niveles freáticos. Para suelos susceptibles al permanecer prácticamente saturados, los drenajes tienden a ser un factor muy importante es los mismo y este tiende a ser efectivo, pero hay que tomar en cuenta que los sistemas de drenaje tienen un costo muy alto y al ser deficientes nos dan lugar que las practicas de riego sean muy pobres, con los cuales tenemos muchas perdidas de agua.

### **2.2.2.3 RIEGO**

Lo que se pretende con el riego es satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos, aplicando el agua uniformemente y de forma eficiente, es decir que la mayor cantidad de agua aplicada quede almacenada en la zona radical a disposición de los cultivos. Este es uno de los objetivos que se debe de alcanzar pero sin alterar los nutrientes del suelo y

con mínimas inferencias sobre las labores de los cultivos.

Los factores que se utilizan o se manejan para poder dar a los cultivos el agua que necesitan para su crecimiento óptimo, son la energía, agua, labores culturales y sistematización, lo cual existe una estrecha relación entre estos, lo cual al disminuir un factor, aumenta la necesidad de los otros, lo mejor será el que tenga una combinación de los recursos con un resultado económico óptimo. De acuerdo a las condiciones que vengán impuestas por la realidad existente. La lámina de riego se expresa en el contenido de humedad en un determinado momento y puede expresarse de la manera siguiente:

$$Lr = (\theta_{cc} - \theta_{actual})Pr \quad (5)$$

Donde:

$L_r$  = Lámina de riego (cm)

$\theta_{cc}$  = contenido de humedad volumétrica a  
capacidad de campo

$\theta_{actual}$  = Contenido de humedad volumétrico inicial

$P_r$  = Profundidad de raíces (cm)

La cantidad neta de agua entregada al sistema durante cada riego, varia con las condiciones climáticas y según la estrategia de riego. Sin embargo para efectos de diseño se utiliza la demanda máxima para determinar la capacidad que debe tener el sistema. Es decir el sistema debe ser capaz de entregar un caudal igual a la demanda máxima.

#### **2.2.2.4 EVAPOTRNASPIRACIÓN**

La evapotranspiración y la transpiración son procesos físicos similares. Transpiración es evaporación de la superficie de una planta.

Evaporación es conversión de agua a vapor y su subsiguiente transferencia de un suelo o superficie acuosa a la atmósfera. Ambos procesos, evaporación y transpiración, se combinan en el término “evapotranspiración”.

#### **2.2.2.4.1 Utilidad de las estimaciones de Evapotranspiración**

- a) Uso de un método meteorológico para programar irrigación. La desventaja principal de este método es que cada combinación de cultivo, suelo y clima requiere riego a distintos déficits de agua en el suelo. En su lugar se pueden usar tensiómetros y bloques de yeso.
- b) Los datos sobre la transpiración son importantes para planear y diseñar sistemas de cañería y riego. Se recomienda estimar las necesidades de agua anuales, mensuales, a fin de diseñar sistemas de almacenamiento y distribución adecuados para

manejar la cantidad de agua, que se necesita en determinado proyecto.

- c) En regiones con limitaciones de agua, ésta puede reservarse para usos futuros con base en la evapotranspiración normal ó la esperada, y en el uso consuntivo.
- d) Las estimaciones de evapotranspiración son útiles para predecir la frecuencia y severidad de las sequías agrícolas en áreas húmedas y subhúmedas.
- e) El método meteorológico para estimar la evapotranspiración tiene muchas ventajas comparado con los métodos que se basan en medidas hidrológicas o en el déficit de agua del suelo. Por lo general, es más fácil obtener datos meteorológicos. Sin embargo, en este método es necesario estimar o advinar el factor suelo-planta.

La evapotranspiración verdadera ( $E_t$ ), puede visualizarse por medio de la relación  $E_t = AE_o$ , donde  $E_o$  = evapotranspiración de un cuerpo, con una superficie húmeda, con forma y propiedades térmica similares a las de las partes evaporantes de la cobertura vegetal y que recibe la misma energía (evapotranspiración potencial.) Al factor  $A$  se le denomina factor de reducción por la fisiología de la planta. Entre otros aspectos,  $A$  está influida por los siguientes factores.

- i) Resistencia de difusión de vapor en las estomas.
- ii) Temperatura u otros factores climáticos que pueden hacer que las estomas se abran o se cierren.
- iii) Condiciones de humedad influyen en la resistencia al movimiento del agua dentro de la planta.

- iv) Cualquier tratamiento (recorte de hojas), o factor, que cambie las áreas foliares o la resistencia interna a la difusión de agua hacia el exterior de los tejidos de la planta.
- v) La evapotranspiración potencial es independiente de la planta. Pero la evapotranspiración verdadera depende de factores anatómicos y fisiológico de la planta. El factor de reducción varía de acuerdo con las especies de plantas.

Para Noreno (1976) la evaporación es el proceso por el cual el agua de un cuerpo terrestre experimenta un cambio de fase, líquida a gas y éste es transferido hacia la atmósfera circulante. La evapotranspiración es la evaporación de agua en los organismos vivos, incluyendo las plantas. La evapotranspiración es la evaporación simultanea

desde un suelo cubierto de vegetación y desde los tejidos de las plantas, principalmente en las hojas.

La evaporación ocurre cuando existe lo siguiente:

- a) Energía para poder cambia de la fase líquida a sólida
- b) Disponibilidad de la atmósfera para absorber el vapor desprendido de la superficie

Los factores que intervienen en el proceso de evapotranspiración

a) Clima:

- ❖ Radiación solar y terrestre
- ❖ La temperatura del aire
- ❖ La humedad relativa
- ❖ el viento

## b) Planta:

- ❖ Albedo o coeficiente de reflexión
- ❖ Inclinación, tamaño, Forma, y densidad de follaje
- ❖ Altura y flexibilidad de las plantas
- ❖ Orientación de siembra

## C) Suelo:

- ❖ Textura
- ❖ Porosidad
- ❖ Conductividad hidráulica (permeabilidad)
- ❖ Color
- ❖ Capacidad de retención de humedad
- ❖ Salinidad

Para determinar la  $E_{tr}$  se utiliza la fórmula siguiente:

$$E_{Tr} = E_{To} * K_c$$

(6)

En donde:

$E_{Tr}$  = Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

$E_{To}$  = Evapotranspiración de referencia (mm/día)

$K_c$  = Coeficiente de cultivo que depende de la etapa fisiológica del cultivo (tabla No. 2)

#### **2.2.2.4.2 Métodos para determinar $E_t$ .**

Para que las fórmulas de evapotranspiración sean útiles es necesario que sea fácil aplicarlas y que se basen en datos y medidas disponibles o fáciles de obtener. Se han puesto varias fórmulas, algunas de

uso más común que otras; su efectividad depende, en gran parte, de las condiciones específicas del campo.

#### a) Método de Thornthwaite

Suponiendo una relación empírica entre la temperatura media mensual y la evapotranspiración potencial mensual  $E_o$  Thornthwaite preparó una ecuación simple.

$$\text{La relación empírica es } \mathbf{E_o = cT^\alpha}$$

(6.2)

Donde:

$E_o$  = Evapotranspiración potencial (cm de agua)

$T$  = Temperatura media mensual ( $^{\circ}\text{C}$ )

$c$  y  $a$  son coeficientes que varía de un lugar a otro; Pequeños en regiones frías y grandes en regiones calientes.

Una ecuación con coeficientes derivados de observaciones en clima caliente no proporciona valores correctos de evapotranspiración potencial para clima frío, y viceversa. Para explicar esta variación regional de los valores  $c$  y  $a$  se creó un término especial llamado índice calórico mensual ( $i$ ), del que se puede calcular  $c$  y  $a$ . La suma de los valores de los doce meses ( $i = T/5$ ) <sup>1.514</sup> da un índice calórico anual apropiado ( $I$ ).

Por lo tanto, una ecuación general es:

$$E_o = 1.6 \left( \frac{10T}{I} \right)^\alpha \quad (6.2.2)$$

$\alpha$  varía de 0. a 4.25

$I$  varía de 0. a 1.60

Esta formula de velocidades no ajustadas al potencial de evapotranspiración. Estos valores se corrigen según el número de días del mes y horas de

brillo solar: éstos se suman para obtener el valor anual de evapotranspiración potencial para un lugar dado.

Como los gradientes de temperatura y de presión de vapor no están íntimamente relacionados con la energía disponible, sino que están modificados por la circulación y movimiento de corrientes de aire, así como por el calentamiento del suelo y sus alrededores, la fórmula no es muy exacta y debe probarse empíricamente en cada lugar en donde el clima es diferente en que se probó la fórmula. Este método se usa mucho por su simplicidad y por que es fácil obtener los datos y monogramas. Tienen muchas aplicaciones en regiones húmedas.

#### b) Método de Lawry – Johnson

Este método por el que se estima la evapotranspiración y el uso consuntivo se aplica a valles y áreas de drenaje, pero no a fincas individuales. Se basa en una supuesta relación lineal entre el calor efectivo, tomado como acumulación, en días grados, de las

temperaturas máximas diarias superiores a los 0°C durante la estación de crecimiento, y el uso consuntivo. La relación aproximada es:

$$U = 0.8 + 0.156^{\circ}F \quad (7)$$

Donde:

$U$  = Uso consuntivo ( $m^2 * cm$ )

$F$  = Calor efectivo en miles de grados días

Se ha intentado aplicar este método a cultivos individuales y también a períodos menores que una estación. Cuando se hace tales aplicaciones la proporción mensual de los días grados de calor se multiplica por la evapotranspiración estacional de los valles luego se usa un factor empírico para el cultivo que se desea.

c) Método de Blaney – criddle (SCS)

El método de Blaney – Criddle fue desarrollado para el oeste de los EUA y ha sido aplicado en todas partes del mundo. El procedimiento esta basado en mediciones de ET hechas en las décadas de los 20 y 30. El procedimiento fue originalmente desarrollado para estimar ET estacional, sin embargo es muy utilizado para hacer estimaciones mensuales. El procedimiento es mas bien intuitivo y tiene poco fundamento físico. Básicamente consiste en la suposición de que ET es proporcional al producto de la temperatura por la fracción de las horas luz. (horas luz en el mes sobre horas luz en el año), la ecuación de Blaney – Cliddle esta dada por:

$$ET = T \frac{P}{100} \quad (8)$$

Donde:

Et = Evaporación en pulgadas

T = Temperatura media mensual en °F

P = Por ciento de horas luz durante el mes.

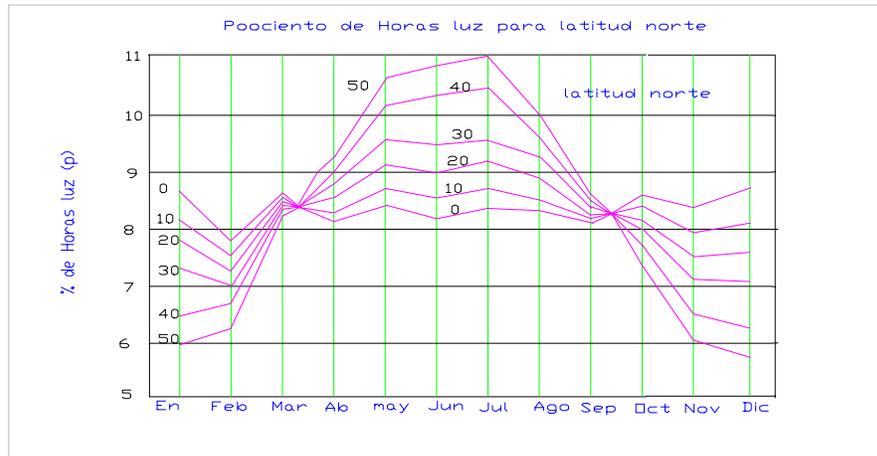
P se puede obtener de las tablas o gráficas. Para convertir la proporcionalidad 1 en una ecuación, se utiliza una constante, en forma tal que:

$$ET = K_{BC} T \frac{P}{100} \quad (8.1)$$

Donde  $K_{BC}$  es el coeficiente de Blaney – Criddle. para el sistema métrico la ecuación como:

$$ET = 2.54 K_{BC} \left( \frac{9}{5} T + 32 \right) \frac{P}{100} \quad (8.2)$$

Donde:



$E_t$  = Evapotranspiración mensual, cm

$T$  = Temperatura mensual °C

El coeficiente KBC es un coeficiente empírico que incorpora todos los otros factores relacionados al cultivo, meteorología y prácticas de producción. La fig. No 2.2.2 muestra la distribución de p para latitudes norte.

**Tabla No. 2.2.2 Coeficiente de cultivo (Kc)**

<b>Cultivo</b>	<b>Inicial</b>	<b>Desarrollo</b>	<b>Mediano</b>	<b>Finales</b>	<b>Cosecha</b>	<b>periodo vegetativo total</b>
<b>Sorgo</b>	0.3-0.4	0.7-0.8	1.05-1.2	0.65-0.70	0.2-0.25	0.65-0.70
<b>Soya</b>	0.3-0.4	0.7-0.8	1.0-1.15	0.70-0.80	0.4-0.5	0.75-0.90
<b>Remolacha Azúcar</b>	0.4-0.5	0.75-0.85	1.0-1.3	0.9-1.0	0.6-0.7	0.8-0.9
<b>Caña de Azúcar</b>	0.4-0.5	0.7-1.0	1.05-1.3	0.75-0.80	0.5-0.6	0.85-1.05
<b>Girasol</b>	0.3-0.4	0.7-0.8	1.05-1.2	0.70-0.80	0.35-0.45	0.75-0.85
<b>Tabaco</b>	0.3-0.4	0.7-0.8	1.0-1.2	0.90-1.0	0.75-0.85	0.85-0.95
<b>Tomate</b>	0.4-0.5	0.7-0.8	1.05-1.25	0.80-0.95	0.6-0.65	0.75-0.90
<b>Rosal</b>	0.3-0.4	0.6-0.7	1.04-1.1	0.60-0.70	0.34-0.45	0.74-0.84
<b>Trigo</b>	0.3-0.4	0.7-0.8	1.05-1.2	0.65-0.75	0.2-0.25	0.80-0.90
<b>Alfalfa</b>	0.3-0.4				1.05-1.2	0.85-1.05
<b>Pasto</b>	0.3-0.4	0.82-0.88			1.04-1.11	0.79-1.02

## **2.3 EL RIEGO POR ASPERSIÓN**

Los sistemas de riego por aspersión el agua se transporta a través de una red extensa de tubos. En sistemas de riego es necesario que el agua llegue a los aspersores con una presión tal que garantice una buena operación de sistema. Para transportar el agua de

La fuente a los aspersores se requiere de impartir energía al agua. Una bomba es un dispositivo mediante el cual se transforma energía mecánica a energía hidráulica. La energía mecánica proviene usualmente de otro dispositivo como un motor eléctrico o de combustión interna.

En el caso de los sistemas de riego por aspersión estacionaria es cuidar el recurso máspreciado en nuestro planeta el “agua”, para dar alivio a las raíces sedientas de los cultivos y también permite que los jardines florezcan. La aspersión aplica la cantidad de agua precisa donde y cuando se requiera, lo cual es

un medio artificial para aplicar el agua con un spray en forma de abanico o por varios chorros, por medio de dispositivos llamados aspersores, durante tiempos de aplicación cortos o largos y de manera continua según la necesidad de los cultivos, conduciendo el agua desde el lugar de abastecimiento hasta los mismos jardines a través de tubería a presión y descarga necesaria. Los sistemas de riego por aspersión se usan en los suelos permeables (Como se muestra en el Tabla No. 2.3), en los que el bulbo húmedo Se desarrolla mucho en forma vertical y muy poco en forma lateral, los radios de mojado dependen el tipo de aspersor utilizado y deflector que se use. Los aspersores fijos pueden mojar círculos completos ( $360^\circ$ ) o sectores de círculo ( $270^\circ$ ,  $180^\circ$  ,  $90^\circ$ ). Generalmente tienen una boquilla u orificio por el que se omite un flujo de agua, esté al chocar con el deflector esparce el agua en forma de lluvia

Tabla No.2.3 Valores de intervalos de humedad disponible de los diferentes suelos por unidad de profundidad y velocidad de infiltración máxima.

Tipo de Suelo	Intervalo de Humedad disponible.Límite(mm/cm) Promedio(mm/cm)	Velocidad de Infiltración Máxima mm/h
Arenas de textura muy gruesa	0.33-0.62    0.40	19-25.5
Arenas de textura gruesa, arenas finas y arenas margosas	0.60-0.85    0.70	12.5-19
Franco–Arenosode texturas medianamente gruesa y franco-arenosos finos	0.85-1.45    1.15	12.5

<b>Franco arenoso muy fino. Francos, Franco-arcillo-arenoso y franco –limoso.</b>	1.25-1.90    1.60	10
<b>Franco-arcilloso de textura medianamente fina y Franco-Arcillo-limoso.</b>	1.45-2.10    1.80	7.5
<b>Arcilla arenosas de textura fina, arcillas limosas y arcilla</b>	1.35-2.10    1.95	

Los aspersores con piezas móviles que por lo general tienen una boquilla fija y un deflector móvil que se mueve por la acción del chorro generando la lluvia con el patrón de mojado circular. Estos aspersores son de gastos, radios de mojado mayores que los de piezas fijas. Los aspersores pueden ser de piezas fijas o móviles:

Los aspersores que son utilizados en jardinería son los siguientes (ver figura No. 2.3)

❖ Entrada roscada (hembra): ½” (15/21)

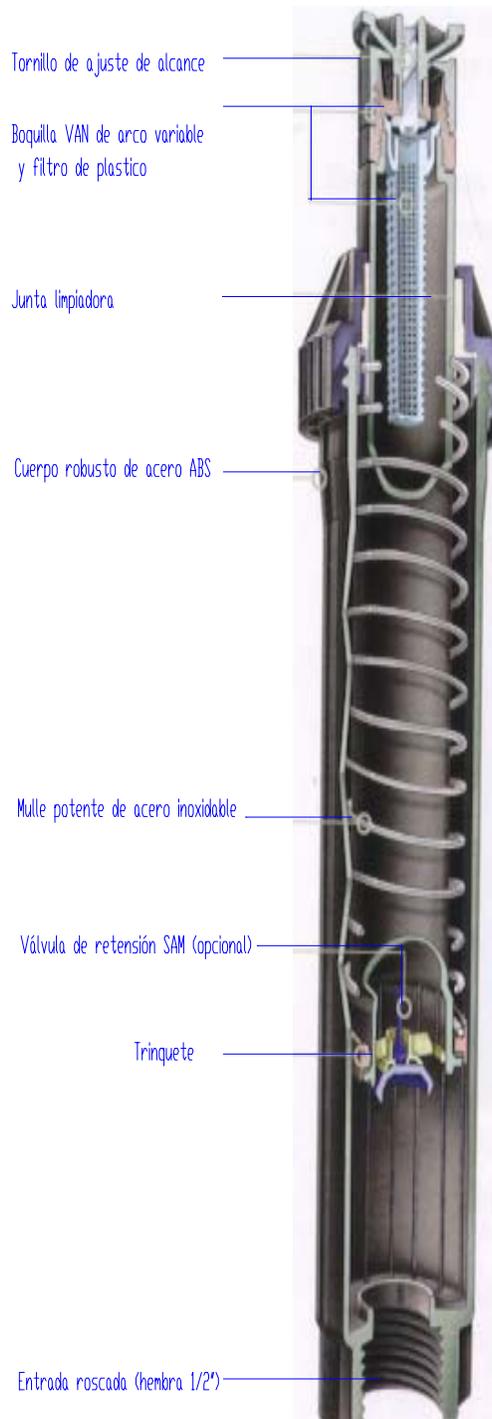
- ❖ Diámetro expuesto: 3,2 cm (1 ¼")
- ❖ Altura del cuerpo 10 cm(3 ¾"), 15 cm(5 7/8"), 21cm(8 ¼").
- ❖ Boquillas de arco variable (van) instaladas en fábrica
- ❖ Pueden usarse en cualquier de las boquillas MPR (tasa de precipitación equivalente), incluyendo las series para cestos y plantas rastreras.
- ❖ 3 Alturas de extensión
- ❖ Ajuste perfecto del ángulo de cobertura mediante un mecanismo de trinquete
- ❖ Junta limpiadora multifuncional
- ❖ Muelle de retracción muy potente, hecho de acero inoxidable
- ❖ Tornillo de ajuste de caudal o gasto y alcance
- ❖ Filtro situado en la boquilla

- ❖ Juego opcional de válvula de retención SAM.
- ❖ presión: con un rango de presión de trabajo de 1,0 a 4.8 bar (15 a 70 psi), como se muestra en el cuadro No. 2.3.1
- ❖ Presión optima: 2 bar (30 psi)
- ❖ Alcance: 0.9 a 15.0 m
- ❖ Deflector. Este componente determina el marco de distribución de agua por el aspersor que puede ser en forma de pájaro, de estrella, mariposa, abanico, 24 rayo y abanico doble.

**Cuadro No. 2.3.1 Características de operación  
de un aspersor (Hunter)**

<b>Modelo de la Boquilla</b>	<b>Presión (Bar)</b>	<b>Gasto LPS</b>	<b>Precipitación (mm/h)</b>	<b>Alcance (m)</b>
1.5		0.09	8	9.4
3.0	1.7	0.21	15	10.7
6.0		0.31	18	11.9
1.5		0.10	8	9.7
3.0	2.0	0.23	15	11.3
6.0		0.34	18	12.6
1.5		0.11	9	10.1
3.0	2.5	0.26	14	12.2
6.0		0.38	17	13.7
1.5		0.12	9	10.7
3.0	3.0	0.29	15	12.8
6.0		0.43	17	14.3
1.5		0.13	9	10.7
3.0	3.5	0.31	16	12.9
6.0		0.46	18	14.6
1.5		0.15	11	10.7
3.0	4.5	0.36	17	13.1

<b>6.0</b>	0.53	19	15.2
------------	------	----	------



**Fig. No. 2.3. Partes que integran un aspersor Hunter.**

**2.3.1 PARTES QUE INTEGRAN UN SISTEMA DE RIEGO**

a) Fuente de abastecimiento

Es la parte fundamental del riego, y esta puede ser de diferente tipo: pozo, río, lagos, laguna.

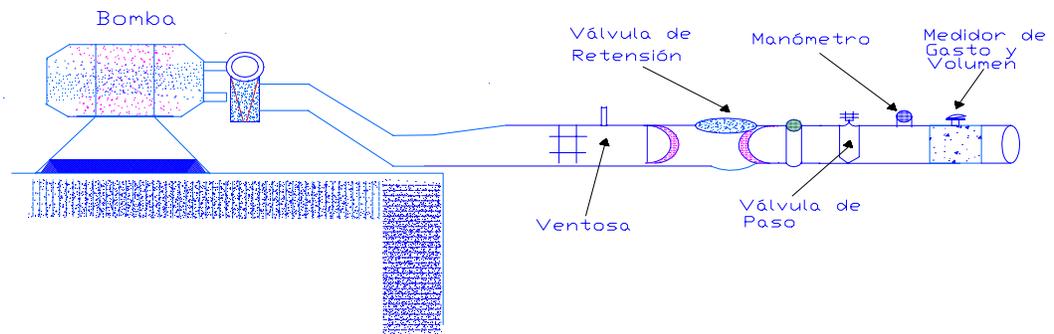
b)Cabezal de Control

Este constituye el cerebro del sistema de riego y este es formado por un conjunto de elementos que permiten el suministro de agua de riego al sistema, medición, control de la presión. La fig. No, 2.3.1 muestran las partes que componen un cabezal para el sistema de riego.

b1) Equipo de bombeo

En los sistemas de riego por lo general se utilizan las bombas centrifugas. su función principal de la bomba es proporcionar el gasto y la presión

necesaria para que el sistema de riego funcione adecuadamente sin tener problemas. Los equipos de bombeo tienen la característica funcional que dentro de ciertos límites de operación. Al variar la carga hidráulica varía el caudal o gasto, a mayor carga de operación menor gasto de servicio y viceversa. Las características de funcionamiento de las bombas se observan siempre en “curvas características” donde se relaciona: la carga, % de eficiencia, velocidad específica y la potencia, los cuales son entregados por el fabricante para tener una instalación adecuada y buena operación.



**Fig. No. 2.3.1 Partes que componen un cabezal de control de riego por aspersión**

### b.2) Dispositivos de control

La función del dispositivo de control es la de controlar el gasto y la presión que el sistema necesita.

#### b.2.1) Válvula de paso

Esté dispositivo su función principal es la de abrir y cerrar los conductos, con lo que se puede controlar el gasto en las diferentes redes de distribución cerrando o abriendo estas válvulas y lo mismo pasa con la presión.

### b.2.2) Reguladores automáticos

son válvulas automáticas que se instalan en las líneas de las tuberías que conforman las unidades del sistema la función principal de estos reguladores es controlar el gasto o la presión dependiendo el regulador que se utilice. Permitiendo así que todos los aspersores trabajen en el mismo rango de operación y lograr una aplicación uniforme en todas las unidades del sistema.

### b.2.3) Medidores de gasto

Dispositivos están en función de la velocidad del agua en la red de tubería, nos indican el caudal en el momento mismo y dependiendo del medidor, pueden indicar a la vez que volumen acumulado pasa a través de ellos.

### b.2.4) Manómetro

La función principal de los manómetros es la de medir la presión en diferentes puntos del sistema de riego, estos pueden ser de mercurio o mecánicos. En

cada uno de estos puntos estos nos indican la presión correcta o hacer lo que se necesite para corregirla.

#### b.2.5) Controladores automáticos

Los controladores automáticos nos sirven para controlar la aplicación del riego, con el cual disminuimos al máximo la intervención humana (Zazueta, 1992), señala que estos pueden ser eléctricos, electromecánicos o basados en computadoras, teniendo como objeto los más simples, operar el sistema basándose en tiempos de riego o volúmenes aplicados. De acuerdo a Medina 1979 pueden citarse las válvulas volumétrica, válvulas eléctricas, programadores y electrotensiometros.

Las válvulas volumétricas sirven para medir en ellas el volumen deseado, una vez que este a pasado, se cierra automáticamente dicha válvula. Cortando así el flujo de agua.

La válvula eléctrica es conectada a un programador central con reloj, en el cual se programan los tiempos de funcionamiento del sistema. De esta manera el programador central envía las ordenes a la válvula eléctrica, la cual mediante un solenoide que contiene en su interior, permite la apertura o el cierre automáticamente.

Los electrotensiómetros van conectados al programador central enviándole la señal para iniciar o suspender el riego, en función de la tensión de la humedad del suelo.

## b.2.6) Dispositivos de Seguridad

### b.2.6.1) Válvulas de retención

La finalidad de estas válvulas es la de frenar el cambio de dirección que no se desea en el curso de la corriente de agua; es decir, para retener la masa de agua que se encuentra en el conducto, cuando el equipo de bombeo suspenda su operación, además

amortigua el golpe de ariete evitando que este dañe el equipo de bombeo.

#### b.2.6.2) Válvulas de alivio

Las válvulas aliviadoras de presión su finalidad es la de permitir la fuga del agua y aire cuando la presión sobrepasa un límite establecido, para proteger con ello el equipo de bombeo, tuberías, y los de mas elementos en la conexión contra estos cambios bruscos de presión que se producen por los cambios del arranque o apagado del bombeo.

#### b2.6.3) Ventosas

Las ventosas son válvulas de entrada y salida de aire. Su función principal es la de permitir que el aire salga cuando se llenan las tuberías de agua, evitando la formación de burbujas en las partes altas de la instalación, y permitir que entre aire cuando las tuberías se vacían para evitar el golpe de ariete y la succión que se origina en los aspersores al parar el sistema de bombeo.

### b.3) Accesorios del cabezal.

El conjunto de piezas que se utilizan para unir y acoplar todos los dispositivos que constituyen el cabezal de control. Estos pueden ser coplees, o adaptadores, extremidades, reductores, tuercas para unir tuberías de diferente diámetro, codo, tees, y cruces para derivaciones.

### c) Red de tuberías (ver Figura No. 2.3.2)

#### c.1) Tubería principal.

Es la tubería que conecta el cabezal de control con las tuberías de distribución. Generalmente en la aspersión el tipo de tuberías que utilizamos es de (PVC)

#### c.2) Tuberías de distribución

Son las tuberías que se conectan a la tubería de conducción con cada una de las subunidades de control autónoma, y estas por lo general son de PVC.

#### c.3) Unidad de Control autónoma

Estas unidades son compuestas por un conjunto de válvulas y accesorios que nos permiten el control del agua en cada unidad de riego.

#### C.4) Sub-unidad de riego

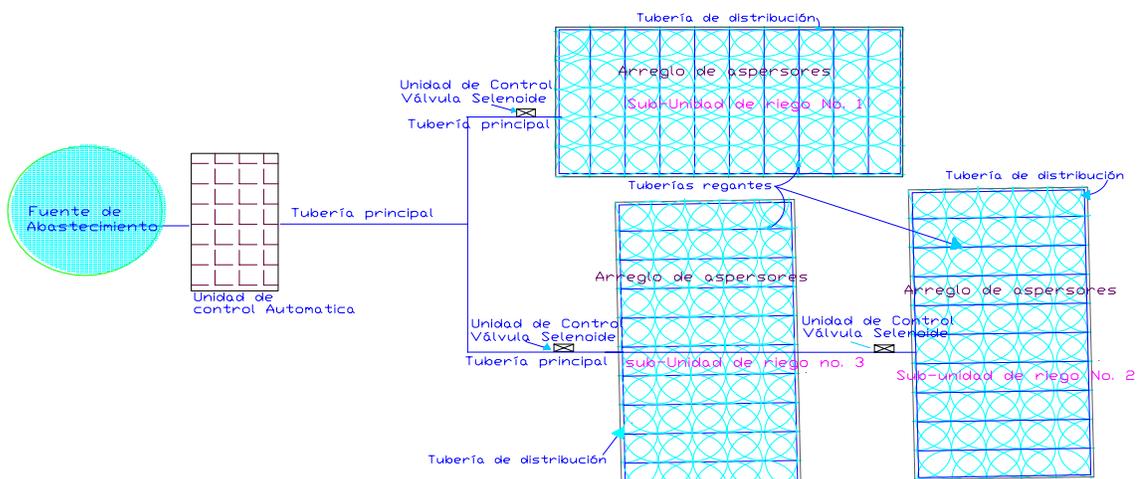
Es toda una superficie dominada por las tuberías regantes y cada uno de sus distribuidores.

#### c.5) Tuberías terminales

Son las tuberías que abastecen o alimentan el agua a cada uno de los aspersores y también son de PVC.

#### c.6) Aspersores

Los aspersores son los dispositivos más importantes, ya que son los que permiten la salida de



agua hacia la superficie de los cultivos, con los gastos y tiempos controlados, con lo cual se le da el nombre al sistema de riego.

**Figura No. 2.3.2 parte que componen un sistema de riego por aspersión(Peña 1992)**

### **2.3.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN.**

Más adelante presentamos un cuadro comparando los sistemas de riego automatizado y de uso mecánico, en el consumo de agua.

#### **2.3.2.1 Ventajas**

❖Alta uniformidad en la aplicación del agua.

Cuando logramos un mejor control en la aplicación del riego de acuerdo con la demanda del o de los cultivos que se tienen en el área a irrigar, nos permite tener una mayor eficiencia en la aplicación, y por lo

tanto obtenemos un incremento en el ahorro del agua, energía y fertilizantes, y con la uniformidad de aplicación, hace que el sistema tenga una pluviometría uniforme con el cual se mantienen rendimientos óptimos.

#### ❖ Ahorro del agua.

Con los sistemas de riego por aspersión solo regamos el área de cultivo con las cantidades exactas requeridas, con esto ahorramos agua debido a la baja percolación profunda, bajo escurrimientos y una menor evapotranspiración.

#### ❖ Mejor penetración del agua

La aplicación del agua a flujos lentos y velocidades controladas en las áreas limitadas del terreno mejora muy significativamente la penetración del agua hacia el suelo con problemas.

#### ❖ Ahorros de energía

Se requieren presiones necesarias para el funcionamiento del sistema y dar el gasto requerido,

por eso necesitamos energía un tanto menor para el bombeo que en los sistemas mecánicos o manuales sin ningún nivel de automatización. La bomba y las redes de tuberías para la conducción del agua pueden ser variadas de acuerdo a la necesidad del riego y nos puede resultar más barato.

#### ❖ Mejores rendimientos

La investigación nos ha demostrado que durante el desarrollo de los cultivos, la calidad de las cosechas y el rendimiento se mejoran constantemente de forma acelerada.

Muchos investigadores y productores aseguran que los aumentos en las cosechas y la maduración más temprana de los cultivos se debe especialmente al menor obstáculo que las plantas encuentran para obtener el agua.

#### ❖ Control de la salinidad

La aplicación frecuente de los riegos hace que las sales se trasladen del área humedecida con lo cual se reducen los problemas de ensalitramiento. Los riegos más frecuentes disipan mayor energía y hace que las plantas se desarrollen mejor sin tener problemas para la absorción del agua.

❖ Para suelos marginales.

Las nuevas técnicas de los sistemas de riego por aspersión nos ayudan a producir en suelos marginales pedregosos o los suelos demasiados arenosos, este tipo de sistemas entrega el agua directamente a las plantas y las cantidades necesarias para el desarrollo del cultivo.

### **2.3.2.2 DESVENTAJAS**

❖ Tienen un costo elevado, por lo que existe mucha limitación del tipo económico en su aplicación.

- ❖ Se requiere de mano de obra especializada, así como para la instalación como para operación y manejo.
- ❖ Taponamiento de los aspersores debido a que el área de su salida es reducida, si no tenemos un sistema de filtración y calidad del agua.
- ❖ En caso de utilizar agua con contenido alto de sales periódicamente sin tratamiento alguno como el lavado al final de cada ciclo, el suelo corre el riesgo de ensalitrarse a corto o mediano plazo.

### **2.3.3 AUTOMATIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE RIEGO.**

La automatización es una de las herramientas fundamentales para poder aplicar el agua en el momento adecuado según la evolución de las necesidades del cultivo y en la cantidad que lo requiera. Esto nos permite alcanzar altos niveles de

eficiencia en el uso del agua, la energía y los fertilizantes.

Lo cual resulta fundamental en estos momentos para la incorporación de las nuevas tecnologías agronómicas al riego para que se mejoren, entre otros, el diseño, el funcionamiento de los sistemas de riego y de esta manera conseguir un balance óptimo y una eficiente utilización del recurso. La elección del nivel de automatización idóneo para cada caso debe hacerse sobre la base de criterios técnico – económico y de acuerdo a las preferencias de los agricultores.

Una ventaja muy importante de la automatización es el ahorro de la mano de obra hasta en un 60%, además de facilitarnos las gestiones sobre la explotación y no es posible la obtención, tratamientos de datos, lo que nos hace tener

estadísticas, confeccionar los recibos de consumo de agua y energía, etc.

El nivel cero de automatización consiste en el abrir y cerrar de forma manual las válvulas. Los diversos niveles de automatización comienzan por esa apertura y cierre de válvulas y continúan con el control de factores hasta llegar al control total de la instalación como vemos en la tabla No. 2.3.2. Para los óptimos manejos de los sistemas de riego es muy conveniente que se dispongan de sistemas automáticos de control que nos permitan, entre otras pretensiones, la mejora del rendimiento en el uso del agua, la detección de fallas o la protección de los diferentes componentes del sistema de riego.

los sistemas de control del riego pueden ser de dos tipos:

a) Bucle abierto

b) Bucle cerrado

**Tabla No. 2.3.2 Niveles diferentes de automatización.**

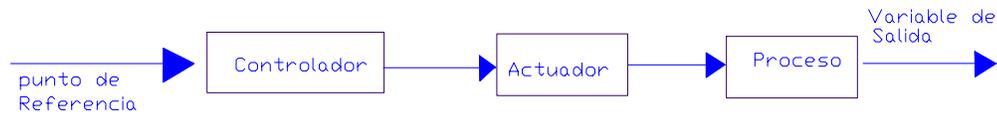
Nivel de Automatización	Parámetro de control	Modelo de operación	Comienzo del riego	Orden de marcha	Cambio de orden de marcha	cambio de dosis de riego	(A)Arranque (P)parada de la bomba	tiempo de riego
<b>Cero</b>	Tiempo o volumen	Manual	Apertura manual	Cualquiera	Sin limitaciones	Cambiar tiempo	A-manual B-posible Automático	Cualquiera
<b>Uso parcial</b>	Volumen	hidráulico	Apertura manual	Cualquiera	Sin limitaciones	Ajuste del dual de la	Idem	Cualquiera

						maromet.		
<b>Uso secuencial</b>	Volumen	Hidráulico	Apertura manual	Fijo	Cambiar conexiones hidráulicas	Ajuste del dual de la maromet.	A – Manual B- Automat	Inyector es
<b>Dos</b>	Tiempo	Eléctrico o Electrónico	Program Horaria	Cualquiera	Sin limitaciones	Ajuste del tiempo	A – Manual B- Automat	Cualquiera
<b>Tres (total)</b>	Tiempo Volumen U otras	Microcom p	Program Horaria o con sensores	Cualquiera	Sin limitaciones	ajuste del tiempo volumen o sensores	Idem	Cualquiera

### a) Sistemas de bucle abierto (Programadores de riego o Temporizadores)

Es uno de los sistemas usados con más frecuencia en la actualidad, con lo cual se controla básicamente el tiempo ( hora del día y duración) en el que se produce el riego o el volumen de agua a aplicar, pero sin tener en cuenta los restantes factores que influyen en el riego como el nivel de la humedad en el suelo, estado de las plantas, condiciones de viento, comúnmente conocidos como programadores de riego o temporizadores.

El programador conecta o desconecta el sistema de riego en función del “programa” que establezca el usuario, en el que se fijan: las horas a las que debe iniciarse el riego y duración del mismo (automatización por tiempo), el volumen de agua que tiene que descargar el sistema (automatización por volumen) o una combinación de los mismos (automatizadores por volumen y tiempo), ver fig. No.2.3.3

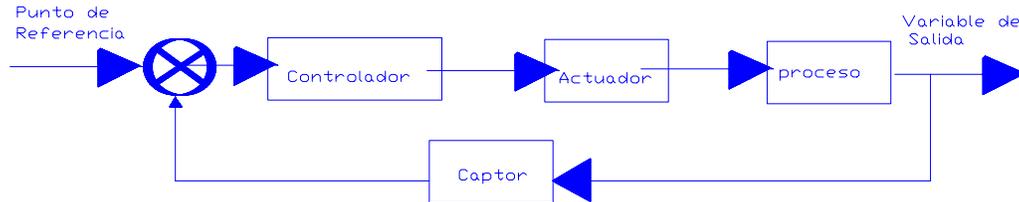


**Figura No. 4.2 Diagrama de un sistema de control de bucle abierto.**

b) Sistemas de Control de bucle cerrado

En este caso el usuario define una estrategia general del control para que, basándose en ella, el sistema elabore y ejecute las decisiones en cuanto al momento adecuado para el riego y la cantidad de agua a aportar. en este tipo de sistemas se requieren la comunicación permanente de los sensores con el controlador (lo que permite conocer cómo se desarrolla el proceso) y del controlador con los actuadores (lo que permite

tomar decisión de riego y ejecutarla en caso necesario). Ver la Fig. 4.3 en el que se muestra los componentes fundamentales de este tipo de sistemas.



**Fig. No. 4.3 Diagrama de un sistema de control de bucle cerrado**

Los sistemas de control de bucle cerrado requieren de la adquisición de datos y parámetros ambientales tales como, temperatura del cultivo, humedad del suelo, temperatura del aire, radiación, velocidad del viento, humedad relativa, etc.

Existen diversos tipos de controladores de bucle cerrado según que basen sus decisiones de riego en:

- a) Un conjunto de medidas directas utilizando sensores (humedad del suelo, temperatura de las plantas, evapotranspiración en un tanque evaporimétrico, etc.) que indican directamente la necesidad del cultivo, para regar o no regar ( Ver, Fig No, 4.4)
- b) A través de medidas indirectas, calculando las necesidades hídricas de las plantas a partir de parámetros climáticos medidos en una estación meteorológica automatizada, y realizando después el correspondiente balance de agua en el suelo para llegar a determinar la necesidad de regar o no.

**Fig. No. 4.4 Sistema de control de bucle cerrado (opción utilizada)**

#### 2.3.4 DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO

El diseño de un sistema de riego por aspersión consiste en las especificaciones detalladas de todos los componentes del sistema y de sus prácticas requeridas para el establecimiento de los riegos o calendario de riego, operación y mantenimiento (Zazueta, 1992).

Un sistema de riego debe ser capaz de proporcionar la cantidad de agua requerida bajo condiciones de máxima demanda. La tabla No. 5 muestra algunos factores que influyen en la selección de un sistema de riego.

Para esto es necesario que el sistema sea capaz de humedecer una fracción del volumen radical, de dimensiones adecuadas y con un nivel de humedad que permitan satisfacer las condiciones climáticas. Los valores de la fracción húmeda sugerida es de  $1/3$  (20% al 60%) de la zona radical normal.

En los sistemas de riego por aspersión uno de los objetivos principales es la aplicación del agua uniformemente sobre la superficie deseada, y dejándola a disposición de las plantas. Los sistemas de riego por aspersión deben diseñarse para aplicar el agua a un ritmo inferior a la velocidad de infiltración para evitar la escorrentía. La aplicación uniforme del agua depende principalmente de: El diseño del aspersor, el tipo y número de boquillas, la presión de trabajo ( lo que define el modelo de reparto de agua del aspersor) así como de la disposición de los aspersores en el campo (marco de riego).

El conocimiento de la distribución del chorro descargado por el aspersor en los distintos tamaños de gota tiene una gran importancia práctica por varias razones, entre las que destacan:

- ❖ Las gotas pequeñas son fácilmente arrastradas por el viento, distorsionando el modelo de reparto de agua y aumentando la evaporación.

- ❖ Las gotas gruesas tienen gran energía cinética, la cual es transferida a la superficie del suelo, pudiendo romper los agregados y afectar a la capacidad de infiltración o la formación de costra.
- ❖ El conocimiento de la distribución de los tamaños de gota puede permitir hoy día disponer de una aproximación del comportamiento de un sistema de riego mediante el desarrollo de simuladores de riego con ordenador ( Vories 1986; Segaren 1992; Tarjuelo 1993), que teniendo en cuenta la acción del viento sobre las gotas, constituye una herramienta fundamental para el diseño del sistema ya que es de sobra conocido el importante papel que juega el viento en el riego por aspersión.

#### 2.3.4.1 Necesidades hídricas

Para la determinación de la demanda máxima del riego es necesario calcular la ET actual utilizando el mejor método posible, para los fines de diseño. La

ET actual es normalmente calculada con el valor máximo posible que ocurre durante la vida del cultivo.

El procedimiento de evapotranspiración debe de ser ajustada a las condiciones características que tiene el riego por aspersión mediante el cual solo la superficie de cultivo será humedecida. Estos ajustes son hechos multiplicando la ET estimada por un coeficiente que representa la proyección horizontal de la capa de cultivo expresado como una fracción del área sombreada.

En el caso de nuestro trabajo el área sombreada es del 100%, por lo tanto los ajustes mencionados hay que llevarlos acabo en aquellos cultivos ampliamente espaciados como las huertas y viñedos.

No hay que olvidar que las necesidades de riego pueden contemplarse al nivel de parcela, de finca, de sector de riego o de zona regable. Las diferencias entre ellas estriban en las pérdidas en el transporte,

evaporación en los puntos de almacenamiento. Caudales instantáneos, horas de funcionamiento. Etc. Nosotros únicamente a las necesidades de área regable.

#### 2.3.4.2 CONSIDERACIONES ADICIONALES PARA EL DISEÑO.

La irregularidad geométrica de las áreas de riego puede dar lugar a que los distintos bloques que constituyen cada una de las posturas de riego no tengan el mismo número de aspersores. Estas variaciones tienen que ser las mínimas posibles, debiendo quedar compensadas en su conjunto de manera que sea posible dar un riego en el tiempo provisto.

La dotación definitiva del sistema (Q) será calculada una vez que queden fijadas todas las posturas a realizar en la parcela, resultando:

$$(9) \quad Q = N \cdot q_a$$

Donde :

N = Número máximo de aspersores en funcionamiento simultáneo en una postura.

$q_a$  = Caudal nominal del aspersor a la presión de trabajo que se considera en el proyecto.

#### 2.3.4.3 SELECCIÓN DEL ASPERSOR

Existen diferentes criterios para la selección de un emisor como se muestra a continuación algunos:

a) Condiciones del suelo

Que el gasto por aspersor debe ser de acuerdo con las características del suelo, para evitar encharcamientos que impidan obtener las condiciones de aireación y eficiencia de aplicación del agua que deba generarse con el riesgo (peña 1981)

b) Consumo del agua del cultivo y el tiempo de operación

El consumo de agua por el cultivo y el tiempo de operación en cada sección de riego, permite obtener alternativas de gasto de aspersores que llevan costos de adquisición, instalación y operación diferentes. Al determinarlas y al conjuntarlas con las características de suelo se seleccionan las más económicas (Idem)

c) Sensibilidad al taponamiento

Basándose en el diámetro menor de la sección hidráulica y considerando la calidad del agua desde el punto de vista del contenido de sólidos orgánicos e inorgánicos.

d) sensibilidad hidráulica

Basándose en el exponente de la relación del caudal del emisor, buscando aspersores con exponentes hidráulicos pequeños.

e) Variación de fabricación

El coeficiente de variación de fabricación debe ser pequeño (5% para emisores puntuales y 10% para líneas de descarga continua).

f) Sensibilidad a la temperatura

La descarga del aspersor no debe variar con cambios de temperatura del agua y del aspersor

g) Calidad de materiales

Resistencia a los rayos ultravioleta, químicos, productos de petróleo, etc.

#### 2.3.4.4 DISEÑO HIDRAULICO DE LA SECCIÓN DE RIEGO

Una vez seleccionado el aspersor se procede al diseño hidráulico de las secciones de riego, conducción, distribución y finalmente el diseño del cabezal, Según Zazueta (1992) la distribución de

estas nuevas tuberías esta condicionada principalmente por:

a) Distribución del cultivo

El arreglo de las plantas define también el arreglo de los aspersores, siendo convenientes que estos estén orientados en la dirección de las operaciones culturales.

b) Topografía

La colocación de la red de distribución y aspersores debe ser tal que aproveche cambios en la elevación del terreno para compensar pérdidas por fricción. Sí la posición de las laterales esta determinada por el cultivo, el factor más importante que influyen en la posición de los aspersores, y estas a su vez perpendicular a los aspersores.

### C) Localización de la fuente de agua

El punto en el que se encuentra la fuente de abastecimiento afecta la localización de las tuberías de conducción, de distribución y de los aspersores. Generalmente las tuberías de distribución se colocan perpendiculares a los distribuidores, y estos a la vez, perpendiculares a red de distribuidores.

**Tabla No. 5 Factores a considerar para la selección de un sistema de riego**

Sistema	Topografía	Tasa de infiltración	Tolerancia de agua	Viento
<b>aspersión</b>	terrenos nivelados o con pendientes	Adaptables a cualquier tasa de infiltración	Adaptables a la mayoría de cultivos puede favorecer el desarrollo de hongos y enfermedades del follaje y flores	Vientos fuertes pueden afectar seriamente la eficiencia del sistema
<b>Superficie</b>	Los terrenos tienen que estar a nivel o con pendientes pequeñas (1%) se pueden utilizar terrazas y vegetación para aumentar la pendiente	No es recomendable para suelos con tasas de infiltración mayores a unos 6 cm/hr. o suelos con tasas de infiltración muy bajas	Adaptable a la mayoría de los cultivos. Puede causar daños a tuberos y plantas que tengan baja tolerancia al anegamiento	Vientos fuertes pueden afectar la eficiencia en suelos desnudos. Usualmente no se considera
<b>Subirrigación por ascenso</b>	la superficie del cultivo debe ser	Adaptable únicamente a suelos que tienen un	Adaptable a la mayoría de los cultivos	el viento no tiene efecto alguno

<b>capilar</b>	nivelada a trazo o a nivel	manto impermeable bajo la zona radical o un manto freático elevado que se pueda controlar		
<b>Microirrigación</b>				
<b>Goteo</b>	Adaptable a cualquier topografía	adaptable a suelos con texturas medias y finas que presentan buena conducción capilar	Adaptable a cualquier cultivo	el viento no tiene efecto alguno
<b>Micro aspersión</b>	Adaptable a cualquier topografía	Adaptable a cualquier tipo de suelo. Especialmente útil con suelos de conducción capilar pobre	Ningún problema	El viento puede afectar seriamente la eficiencia
<b>subirrigación por difusión capilar</b>	el área de cultivo debe ser nivelada para limitar pendientes	Adaptable solo a suelos con texturas medias a finas que presentan buena conducción capilar	Ningún problema	El viento no tiene efecto alguno
<b>Fuente de J.H. Turner, Planning for a system. AAVIM. Eng. Center, Athens. Ga 30602</b>				

Peña (1979), desarrolló una teoría para el cálculo de las pérdidas de carga en tuberías con salidas múltiples, con la cual nos permite diseñar las secciones por aspersión.

El análisis para cálculo de las pérdidas de carga en tuberías con salidas múltiples, parte de los supuestos:

❖ Las salidas a lo largo de la tubería están igualmente espaciadas

❖ El gasto en cada salida

Haciendo el análisis para cada uno de las secciones de riego, el gasto en la primera sección es:

$$Q_e = N \times \bar{Q}$$

Donde:

$Q_e$  = gasto en la entrada (1<sup>er</sup> tramo)

$N$  = Número de salidas

$Q$  = Gasto medio por salida

$$H_{t-1} = H_{F-1} + H_{L-1} \dots \dots \dots (1)$$

En cada uno de los tramos existen pérdidas de carga por fricción y localizadas

Donde:

$H_{t-1}$  = Pérdidas de carga en el tramo 1, m

$H_{f-1}$  = Pérdidas de carga por fricción en el tramo

1, m

$H_{l-1}$  = Pérdidas de carga localizadas en el tramo 1, m

Utilizando la ecuación de Manning:

$$v = \frac{1}{C} \times P^{1/2} \times RH^{2/3} \dots\dots\dots(2)$$

Donde.

$v$  = Velocidad del flujo en la tubería , m/s.

$C$  = Coeficiente de Manning, adimensional.

$P$  = Pendiente hidráulica, m/m.

$RH$  = radio hidráulico, m

Como.

$$P = GH = \frac{H_f}{L}$$

Donde:

$GH$  = Gradiente hidráulico, adim.

$H_f$  = Pérdida de carga en tubería simple (fricción), en m

$L$  = longitud del tramo

$$RH = \frac{AH}{Pm} = \frac{\pi \times D^2}{4 \times \pi \times D} = \frac{D}{4}$$

Donde:

AH = Area hidráulica, en m<sup>2</sup>

Pm = Perímetro mojado, m

D = Diámetro interior de la tubería, m

Q = Gasto, m<sup>3</sup>/s

$$v = \frac{Q}{AH} = \frac{Q}{\frac{\pi \times D^2}{4}} = \frac{4Q}{\pi \times D^2} \dots\dots\dots(3)$$

Igualando las ecuaciones 2 y 3, sustituyendo valores y despejando H<sub>f</sub>

$$\frac{4Q}{\pi \times D^2} = \frac{1}{C} \times \frac{H_F^{1/2}}{L^{1/2}} \times \frac{D^{2/3}}{4^{2/3}}$$

$$H_F = \left( \frac{4^{3/3} \times Q \times C \times L^{1/2} \times 4^{2/3}}{\pi \times D^2 \times D^{2/3}} \right)^2$$

$$H_F = \frac{4^{10/3} \times C^2 \times L \times Q^2}{\pi^2 \times D^{16/3}} \dots\dots\dots(4)$$

Las pérdidas de carga localizadas se calculan de la manera siguiente.

$$H_L = kL \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots(5)$$

Donde:

KL = Pérdidas de carga localizadas, m

kL = Coeficiente de pérdidas localizadas, adim

g = Gravedad , m/s.

Y sustituyendo la ecuación 3 en la ecuación 5 tenemos

$$H_L = \frac{kL \left( \frac{4Q}{\pi \times D^2} \right)^2}{2 \times g} = \frac{4^2 \times kL \times Q^2}{2 \times g \times \pi^2 \times D^4} \dots\dots\dots(6)$$

$$H_{t-1} = \left[ \frac{4^{10/4} \times C^2 \times L}{1 \pi^2 \times D^{16/3}} + \frac{4^2 \times kL}{2 \times g \times \pi^2 \times D^4} \right] \times Q^2 \dots\dots\dots(7)$$

Sustituyendo la ecuación 4 y 6 en la ecuación 1 tenemos

Tenemos que recordar que  $Q$  es el  $\bar{Q}$  gasto medio en el tramo,  $Q_s$

Para el tramo final el gasto es igual al de la

$Q_{s_1}^2 = (1 \times Q_s)^2 = Q_s^2 \times 1$        $Q_{s_2}^2 = (2 \times Q_s)^2 = Q_s^2 \times 2^2$        $Q_n^2 = (n \times Q_s)^2 = Q_s^2 \times n^2$   
última salida (gasto medio de salida del aspersor de la tubería regante), y para el tramo penúltimo, el gasto es dos veces al de la última salida.

$Q_1 =$  gasto medio en el tramo 1

$Q_s =$  Gasto medio de salida del aspersor en la tubería regante

Así, las pérdidas de carga por cada tramo quedan de

$$H_{1-1} = F \times (1 \times Q_s)^2 = F \times 1^2 \times Q_s^2$$

$$H_{1-2} = F \times (2 \times Q_s)^2 = F \times 2^2 \times Q_s^2$$

$$H_{1-n} = F \times (n \times Q_s)^2 = F \times n^2 \times Q_s^2$$

la manera siguiente:

Como la pérdida de carga en toda la tubería es la sumatoria de las pérdidas de carga por cada unidad o tramo; entonces

$$H_{TMS} = \sum_{i=1}^n i^2 \times Qs^2 \times F \dots \dots \dots (8)$$

donde:

$H_{TMS}$  = Pérdidas de carga en tubería con salidas múltiples

Usando algunas propiedades de la suma

$$\sum_{i=1}^n i = (1 + 2 + 3 + \dots + (n-2) + (n-1) + n)$$

$$\sum_{i=1}^n i = [(n+1) + (n+1) + (n+1) + \dots + (n+1) + (n+1)]$$

$$2 \sum_{i=1}^n i = [(n+1) + (n+1) + (n+1) + \dots + (n+1) + (n+1)]$$

$$2 \sum_{i=1}^n i = n \times (n+1); \sum_{i=1}^n i = \frac{n(n+1)}{2} = \frac{1}{2}(n^2 + n)$$

Otra de las leyes de la sumatoria es:

$$\sum_{i=1}^n [i^3 - (i-1)^3] = N^3$$

Desarrollando lo anterior tenemos:

$$\sum_{i=1}^n [i^3 - (i^3 - 3i^2 + 3i - 1)] = \sum_{i=1}^n (3i^2 - 3i + 1) = N^3$$

$$3 \sum_{i=1}^n i^2 - 3 \sum_{i=1}^n i + N = N^3 \xrightarrow{\text{tiende}} \sum_{i=1}^n i^2 = N^3 - N + 3 \sum_{i=1}^n i$$

$$\sum_{i=1}^n i = \frac{2N^3}{6} - \frac{2N}{6} + \frac{3N^2}{6} + \frac{3N}{5}$$

$$\sum_{i=1}^n i^2 = \frac{2N^3 + 2N + N}{6} \dots\dots\dots(9)$$

sustituyendo el valor de F y de las ecuaciones 9 y 8

$$H_{TSM} = \left[ \frac{4^{10/3} \times C^2 \times L}{\pi^2 \times D^{16/3} \times 000} + \frac{kL \times 4^2}{2 \times g \times \pi^2 \times D^2} \right] \times Q_s^2 \times \left[ \frac{2N^3 + 3N^2 + N}{6} \right] \dots\dots\dots(10)$$

$$Q_s = (Q_p \times Q_u)^{1/2}$$

Considerando :

Donde:

$Q_m$  = Gasto medio del aspersor en la selección

$Q_p$  = Gasto del primer aspersor de la selección

$Q_u$  = Gasto en ultimo aspersor de la unidad

Sí  $Q_p = 1.1 Q_u$  para que la diferencia de gastos entre el primero y el último aspersor sea mínima se tienen que seleccionar de manera cuidadosa para que den el mismo gasto.

$$Q_s = (1.1Q_u \times Q_u)^{1/2} = 1.1^{0.5} \times Q_u$$

$$Q_s = 1.04881Q_u \dots \dots \dots (11)$$

Y si sustituimos la ecuación anterior en la 10 tenemos

$$H_{TSM} = \left[ \frac{4^{10/3} \times C^2 \times L}{\pi^2 \times D^{16/3}} + \frac{kL \times 4^2}{2 \times g \times \pi^2 \times D^2} \right] \times (1.0488 \times Q_u)^2 \times \left[ \frac{2N^3 + 3N^2 + N}{6} \right] \dots (12)$$

Ecuación típica para calcular las perdidas de carga en una tubería de riego por aspersión, donde

toda la pérdida permisible se pierde en la tubería regante. Para determinar el coeficiente de salidas múltiples (CSM)

$$CSM = \frac{H_{TSM}}{HQ_e} \dots\dots\dots(13)$$

Donde.

$H_{Q_e}$  = Pérdida de carga generada por el gasto a la entrada de la regante

$L_T$  = Longitud total de la tubería, m.

$$H_{Q_e} = \left[ \frac{4^{10/3} \times C^2 \times LT}{\pi^2 \times D^{16/3}} + \frac{kL \times 4^3 \times N}{2 \times g \times \pi^2 \times D^4} \right] \times Q_e^2 \dots\dots\dots(13)$$

Como

$$- L = N \times E_s; Q_e = N \times Q_s; Q_e = N^2 \times Q_s^2; E_s = L$$

Donde:

N = Número de aspersores

Es = espaciamiento entre emisores, m

Sustituyendo las expresiones anteriores en la ecuación 14 tenemos

$$H_{Qe} = \left[ \frac{4^{10/3} \times C^2 \times Es \times N}{\pi^2 \times D^{16/3}} + \frac{kL \times 4^2 \times N}{2 \times g \times \pi^2 \times D^4} \right] \times N^2 \times Qs^2 \dots\dots\dots(15)$$

De igual modo:

$$H_{Qe} = F \times N^3 \times Qs^2 \dots\dots\dots(16)$$

Sustituyendo la ecuación 10 y 16 en 13 resulta:

$$CSM = \frac{F \times Qs^2 \left( \frac{2N^3 \times 3N^2 \times N}{6} \right)}{F \times Qs^2 \times N^3}$$

$$CSM = \frac{2N^3 + 3N^2 + N}{6N^3} \dots\dots\dots(17)$$

Por lo tanto:

Cuando  $\longrightarrow$   $\longrightarrow$   $\alpha$ , CSM  
 0.3333333

Como se menciono anteriormente para que la diferencia de gastos entre el primer emisor y el último sea pequeñísima se tiene:

$$Q_p = 1.1 Q_u$$

$$Q_p = K * H_p^x \longrightarrow \text{gasto en el primer emisor}$$

$$Q_u = k * H_u^i \longrightarrow \text{Gasto en el último emisor}$$

Donde.

$k$  = Coeficiente.

$x$  = Exponente, el cual para emisores de flujo turbulento es de 0.5

Sustituyendo y despejando H:

$$Q_p = k \times H_p^{0.5} = 1.1 \times k \times H_u^{0.5}$$

$$H_p = 1.1^2 \times H_u \rightarrow H_p = 1.21 \times H_u$$

Por lo tanto las pérdidas de carga permisibles la sección serán:

$$H_{ps} = H_u - H_u = 1.21H_u - H_u$$

$$H_{ps} = 0.21 H_u$$

y la pérdida de carga en la tubería regante ( $H_u$ ) y el distribuidor ( $H_d$ ) serán:

$$H_r = P \times 0.21H_u$$

$$H_d = (1 - P) \times 0.21H_u$$

Donde:

$P$  = Porcentaje de pérdidas en la tubería regante

$(1 - P)$  = Porcentaje de pérdidas en el distribuidor

$$H_s = H_r + H_d$$

$$H_s \leq H_{ps}$$

La carga en el primer emisor de la regante

$$H_p = H_u + H_{r'} = H_u + 0.21 \times P \times H_u$$

$$H_p = (1 + 0.21P) \times H_u$$

Por lo tanto el gasto medio en la regante:

$$Q_r = (Q_p \times Q_u)^{0.5} = (k \times H_p^{0.5} \times k \times H_u^{0.5})^{0.5}$$

sustituyendo el  $H_p$ :

$$Q_r = k \left[ (1 + 0.21P)^{0.5} \times H_u^{0.5} \times H_u^{0.5} \right]^{0.5}$$

$$Q_r = k \times H_u^{0.5} (1 + 0.21P)^{0.5} = (1 + 0.21P)^{0.5} \times Q_u$$

$$Q_r = (1 + 0.21P)^{0.5} \times Q_u \dots \dots \dots (18)$$

$$Q_r^2 = \left[ (1 + 0.21P)^{0.5} \times Q_u \right]^2 \dots \dots \dots (19)$$

Sustitución en la ecuación 10

$$H_{r'} = \left[ \frac{4^{10/3} \times C^2 \times E_s}{\pi^2 \times D^{16/3}} + \frac{kL \times 4^2}{2 \times g \times \pi^2 \times D^4} \right] \times (1 + 0.21P)^{0.5} \times Q_u^2 \times \frac{2N^3 \times 3N^2 + N}{6} \dots \dots \dots (20)$$

Ecuación para calcular las pérdidas de carga en una tubería regante considerando un porcentaje decimal como permisible de perdidas y un número de salidas. Como son dos incógnitas se debe resolver a prueba y error, para un valor fijo de P, debe hacerse iteraciones con N. para facilitar esto debe obtenerse una ecuación para estimar N.

$$H_{pir} = 0.21 \times Hu$$

$$CSM = \frac{2N^3 + 3N^2 + N}{6N^3}$$

Sustituir  $H_{pir}$  entre  $N^3$  y Despejar  $N$

$$\frac{0.21P \times HU}{N^3} = \left[ \frac{4^{10/3} \times C^2 \times Es}{\pi^2 \times D^{16/3}} + \frac{kL \times 4^2}{2 \times g \times \pi^2 \times D^4} \right] \times (1 + 0.21P)^{0.5} \times Qs^2 \times CSM \dots (21)$$

$$N = \left[ \frac{0.21 \times P \times Hu}{\left( \frac{4^{10/3} \times C^2 \times Es}{\pi^2 \times D^{16/3}} + \frac{kL \times 4^2}{2 \times g \times \pi^2 \times D^2} \right) \times (1 + 0.21P)^{0.5} \times Qu^2 \times CSM} \right]^{1/3} \dots (22)$$

.

Para el calculo de N se propone P y se usa  $CSM = 0.35$  como una primera iteración, luego se calcula el CSM correspondiente a N como entero, es decir despreciando la fracción decimal y se sustituye de nuevo en la ecuación, sosteniendo el valor de P hasta que N, tiende a ser constante:

Considerando la pendiente

$$d = \frac{S \times N \times Es}{\sqrt{1 + S^2}} \dots\dots\dots(23)$$

Donde:

S = Pendiente del terreno (%)

Es = espaciamiento entre salidas (m)

N = Número de emisores

se calcula para condición horizontal y luego se aplica en las ecuaciones siguientes:

$$N = \left[ \frac{(0.21 \times P \times Hu) \pm d}{\left( \frac{4^{10/3} \times C^2 \times Es}{\pi^2 \times D^{16/3}} + \frac{kL \times 4^2}{2 \times g \times \pi^2 \times D^2} \right) \times (1 + 0.21P)^{0.5} \times Qu^2 \times CSM} \right]^{1/3} \dots\dots\dots(24)$$

Se usa (+) cuando la pendiente es a favor y (-) cuando la pendiente es en contra. El número obtenido después de iterar aguas arriba y aguas abajo ubican entrada del distribuidor cuando los regantes están a nivel y el distribuidor en la máxima pendiente. Cuando los regantes y el distribuidor tiene pendiente, entonces ambos deben ajustarse:

Sin embargo a causa de que esta ecuación es demasiada complicada, por de la Peña en 1996 (Manual para diseño de zonas de riego pequeñas) determina algunos coeficientes como se muestran en la tabla No.2.3.5 y 2.3.6, el cual hacen más práctico el uso de estas ecuaciones. Considerando que se pierde el 30% y el 70% de la perdida de carga

permisible en la lateral y en las distribuciones respectivamente. Por lo tanto la ecuación para la determinación del número máximo de emisores queda de la siguiente manera:

Donde:

$$N = \frac{\left[ \frac{6.44724 \cdot 48}{0.21 \times 0.30 \times H \pm d} \right]^{1/3}}{\left( \frac{4^{10/3} \times 0.009^2}{\pi^2 \times \left( \frac{1}{100} \right)^{16/3}} + 0 \right)^{1/3} \times (1 + 0.21 + 0.30)^{1/6} \times \left( \frac{1}{3600000} \right)^{2/3} \times (0.35)^{1/3} \times \frac{Es^{1/3} \times Q^2}{D^{16/9}}}$$

$$N = \frac{\left( \frac{6.78}{0.036 \times H \pm d} \right) \times D^{16/9}}{0.215 \times Es^{1/3} \times Q^{2/3}}$$

$$N = \frac{(K_2 \times H \pm d)^{1/3} \times D^{16/9}}{K_3 \times Es^{1/3} \times Q^{2/3}} \dots \dots \dots (25)$$

Donde:

Es = espaciamiento entre las salidas (m)

Q = Gasto en el último aspersor (lph)

N = Número de salidas en la tubería

D = Diámetro interior de la tubería (mm)

**Tabla No.2.3.5 Coeficientes de calculo del número de salidas**

<b>Tipo de tubería</b>	<b>Opción</b>	<b>K<sub>2</sub></b>	<b>K<sub>3</sub></b>
<b>Regante</b>	C/Regulador	0.063	0.615
<b>Regante</b>	C/R	0.21	0.628
<b>Distribuidor</b>	S/R	0.147	0.623
<b>Distribuidor</b>	C/r		

**Tabla No. 2.3.6 Coeficientes de calculo de perdidas de carga**

<b>Tubería</b>	<b>Opción</b>	<b>K<sup>2</sup></b>
<b>Regante</b>	S/R	0.2324
<b>Regante</b>	C/R	0.2480
<b>Distribuido</b>	S/R	0.2489
<b>Distribuido</b>	C/R	0.2254

### **2.3.4.5 DISEÑO DE LA TUBERIA PRINCIPAL DE CONDUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN**

Debido a que ambas son continuas, su diseño se hace de la misma manera, y consiste en seleccionar el diámetro más apropiado por tramos, ya que cada uno de ellos las condiciones de gasto, carga

requerida y topografía son diferentes (Martínez, 1991). De este modo para c/tramo se pueden seleccionar uno o varios diámetros de acuerdo al criterio que se utilice, el cual depende de aspectos hidráulicos y/económicos.

Desde el punto de vista hidráulico se puede realizar por los siguientes criterios:

#### ❖ Velocidad permisible en la tubería

Para evitar taponamientos en los aspersores por velocidades bajas; así como golpe de ariete por velocidades altas, las velocidades en las tuberías deberán estar dentro de un rango permisible, el cual de acuerdo con algunos autores son las siguientes: Velocidades de 0.3 a 1.5 m/s (SARH, 1980), de 1.5 a 3 m/s (Martínez, 1991), y de 0.9 a 2 m/s (Peña, 1993). Una vez que se fijan la velocidad, el diámetro se obtiene de la siguiente forma:

$$Q = A \times V$$

$$A = \frac{Q}{V}$$

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

$$D = \left( \frac{4 \times Q}{V \times \pi} \right)^{1/2}$$

Donde.

D = Diámetro interior (m)

Q = Gasto (m<sup>3</sup>/seg)

V = Velocidad (m/s)

### **2.3.5 INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO**

Cada sistema de riego es único por lo que no hay unas guías de instalación que nos cubra todas las situaciones. Sin embargo, existen diversos de los trabajos y distintos problemas que son comunes a todas las instalaciones.

Rodrigo y otros señalan los siguientes aspectos (1996)

### ❖ Materiales para la instalación

En el proyecto deberán especificarse las cantidades de cada uno de los materiales, así como sus detalles de instalación.

### ❖ Herramientas y equipo de trabajo requerido

Estas dependen de las dimensiones del proyecto, y son las siguientes; Herramientas básicas tales como palas, sierras, limas, palancas, llave inglesa, destornilladores, taladros, etc. Medio de transporte, remolques, y/o carretilla para transporte de materiales y en caso necesario retroexcavadora para abrir zanjas; grúas portátiles para levantar piezas pesadas como filtros, válvulas grandes, bombas tanques ect.

### ❖ Montajes de uniones y otras piezas especiales

Para esto es muy conveniente realizar el trabajo de montaje en el almacén central, ya que se cuenta con el mayor equipo necesario.

### ❖ Topografía y Replanteo

El topógrafo, debe replantear las tuberías principales y subprincipales, límites de los terrenos totales, localización de las tuberías principales y de los cables que son de mucha utilidad.

### ❖ Zanjas

Estas se abrirán a lo largo del trazado de las tuberías principales y subprincipales.

### ❖ Montaje de tuberías y accesorios

Estas se distribuyen sobre el terreno y se procede unirlas utilizando el pegamento o lubricante adecuado, para el caso de tuberías de PVC (en nuestro caso). En dichas tuberías se instalan tees, codos, elevadores, válvulas, etc. Según el proyecto.

### ❖ Instalación de cables eléctricos

En la instalación de las válvulas eléctricas o hidráulicas controladas, los cables eléctricos o los micro tubos se colocan en el fondo de la zanja holgadamente, tratando de mantenerlos alejado de

los bordes vivos de las piezas especiales y de las rocas. Estos deberán probarse antes de enterrarse. Además se debe permitir suficiente holgura en cada válvula subprincipal para hacer conexiones con las válvulas de control en campo para permitir contracciones. La siguiente tabla muestra el tipo de cable que se debe utilizar en válvulas solenoides. La tabla No.2.3.7 nos muestra el cable utilizado para las válvulas selenoides dependiendo de la presión de operación y la longitud entre controladores y las válvulas selenoides.

#### ❖ Colocación de las tuberías en las zanjas

Las tuberías tanto principales como subprincipales deben de depositarse en las zanjas cuidadosamente.

#### ❖ Instalación de juntas, válvulas y elevadores

La última parte de la instalación debe completarse con la instalación de válvulas y demás piezas especiales, conectar los cables en las válvulas de control de campo, así como pintar las tuberías de

PVC, para protegerlas de los rayos del sol y prevenir el crecimiento de algas.

#### ❖ Relleno parcial de las zanjas

Después de que la tubería se ha colocado en las zanjas, se procede a hacer un relleno parcial de estas. En tiempos de calor el relleno debe hacerse en las primeras horas de la mañana o últimas de la tarde por el efecto de contracción.

#### ❖ Instalación de bloques de anclaje

Estos se ponen con la finalidad de que no se produzcan fuerzas hidrostática de empujes significativos y estos generalmente se colocan en tees, codos, reductores, elevadores y válvulas.

#### ❖ Instalación de tuberías laterales

Se tienden sobre el terreno las tuberías laterales (regantes), pero no se conectan a los distribuidores sin antes haberlos lavado para evitar que las laterales se contaminen de tierra, insectos, etc. , conservando los extremos de las tuberías laterales tapados.

### ❖ Lavado, presurizado y prueba de instalación

Para permitir que salga el exterior todas las impurezas, se deben de llenar las tuberías principales con sus válvulas de salida abiertas. Una vez que se han lavado las tuberías se cierran las válvulas y entonces la presión dentro de la tubería deberá llevarse hasta la presión de prueba. Si existen fugas, se debe terminar la prueba reparar las fugas, lavar la tubería y repetir la prueba.

### ❖ Conexiones de tuberías laterales a los distribuidores

Con las terminales de las laterales abiertas, conectarse a los distribuidores. La conexión a los distribuidores. La conexión se hará más fácilmente si por esta ultima corre agua. Dejar que se laven laterales y después cerrar los finales de estas, llevando la presión del sistema hasta la de trabajo. Ajustar todas las presiones en los distribuidores a su valor requerido. Verificar las perdidas, cortar el

funcionamiento del sistema y reparar todas las fugas en las subprincipales y líneas laterales.

❖ prueba de funcionamiento

Una vez que se ha comprobado que todos los componentes del sistema funcionan correctamente se procede a hacer el llenado final de las zanjas.

<b>Tabla No. 2.3.7 Selección del tamaño de cable para válvula solenoide</b>					
<b>Tamaño AWG</b>	<b>No debe exceder cierta presión</b>				
<b>Diámetro</b>	5.3	6.0	7.0	8.8	10.5
<b>No.</b>	kg./cm	kg./cm	kg./cm	kg./cm	5
<b>Pulgada</b>	2	2	2	2	kg./ cm <sup>2</sup>

<b>18</b>	0.040	2200	2000	1600	1100	700
<b>16</b>	0.051	3600	3200	2500	1800	110 0
<b>14</b>	0.064	2700	5000	4000	3000	170 0
<b>12</b>	0.081	9000	8000	6400	4700	280 0
<b>10</b>	0.102	14000	12700	10200	7400	440 0
<b>8</b>	0.129	22700	20200	16200	11800	700 0

### **2.3.6 OPERACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO**

La operación de un sistema de riego comprende toda la manipulación con el propósito que nos funcione y entregue el agua con la mayor eficiencia

admisible, el agua los fertilizantes y todos aquellos agroquímicos aplicables al sistema, en cantidades deseadas y en los tiempos determinados.

Para esto el o los operadores deben conocer el funcionamiento del equipo, su capacidad y las diferentes presiones de trabajo, esto puede simplificarse a las cantidades de agua que el sistema tiene que conducir a través de la red de distribución y el caudal de cada aspersor bajo ciertas condiciones de presión que debemos conocer, tener los calendarios de riego, en el que se tienen las fechas, cantidad y los tiempos de aplicación. Contar un programa de evaluación para verificar que el sistema esté trabajando correctamente. Indicador importante del sistema de riego por aspersión son las presiones de trabajo, el sistema debe estar trabajando con el gasto hidráulico requerido, para ello se cuenta con manómetros en puntos estratégicos.

El cabezal de control es muy importante conocer las presiones de operación antes de la entrada hacia las subunidades las presiones deben estar definidas y variar lo menos posible, por lo que generalmente en la unidad autónoma o válvula solenoide se incluye un regulador de presión, y posteriormente después del regulador se incluye un manómetro.

### **III MATERIALES Y METODOS**

#### **3.1 DESCRIPCIÓN DEL LUGAR**

El presente trabajo se llevo acabo en las áreas determinadas para jadines tanto de árboles de ornato como de césped y rosales en el Complejo Industrial “Santa María” (Maga Internacional de México). En el Municipio de Ramos Arizpe Coahuila, con una ubicación geográfica de 25° 51’ Latitud Norte, 101° 09’ Longitud Oeste y con una altitud de 1017 MSNM. Esta zona se caracteriza por su clima cálido seco (semiárido), y con relación a la humedad, este

se presenta con lluvias en verano. El régimen pluvial es de 129.0 mm/año y la temperatura media anual oscila entre los 30.4 °C y 36.0 °C.



**Fig. 3.1** ubicación del complejo industrial “Santa María”

### 3.1.1 Fuente de abastecimiento

Se cuenta con pozo profundo ubicado en la parte Noroeste del Complejo Industrial “Santa María”. Este pozo esta equipado con una bomba sumergible, la cual bombea el agua para uso industrial derivando el gasto de 12 lps hacia una pila de

150.00m<sup>3</sup> el cual abastece al sistema de riego por aspersión. La pila debe ser de 491.832 m<sup>3</sup> pero de acuerdo a las disposiciones de la empresa se tubo que hacer la pila antes mencionada para la aplicación al sistema de riego.

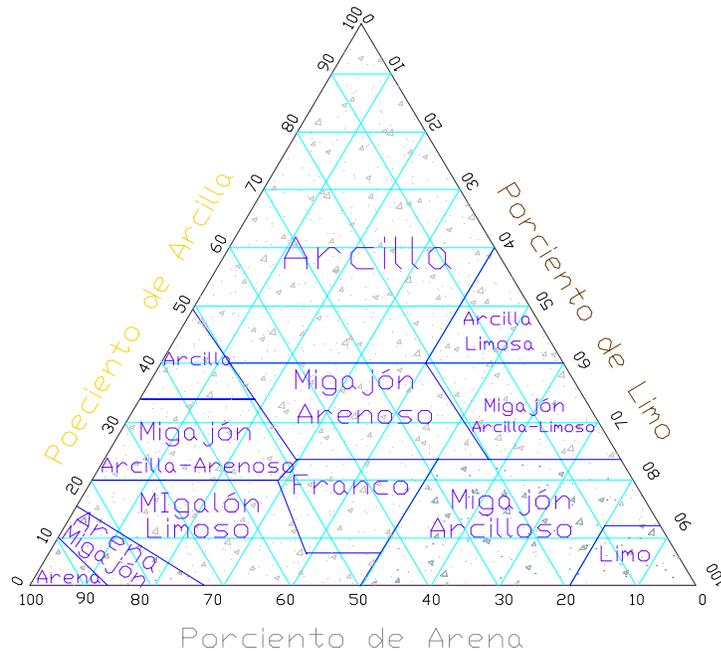
### 3.1.2 Tipo de Suelo

Los suelos de esta zona cuentan con un 41.32% de arcilla con una fase física litica gravosa, como se muestra en la tabla 3.1. La capa superficial se encuentra a una profundidad de 0 a 30 cm, de textura media Migajon Arcillosa de color amarillo claro , con una estructura granular.

El primer estrato del subsuelo se encuentra de 0-30 cm, el contenido de arcilla es de 40.99%, con estructura columnar, el segundo estrato se profundiza de los 30 cm a 60 cm, su estructura es migajon y las ultimas dos estratos de 60 a 90 cm, y de 90 a 120 cm, de textura arcillosa de color café claro.

**Cuadro No. 3.1 Características físicas y químicas del suelo. “Santa María”, en el Municipio de Ramos Arizpe, Coahuila.**

Características	Valores medios a diferentes profundidades (cm)				Método de análisis
	0-30	30-60	60-90	90-120	
<b>Reacción del suelo (PH)</b>	7.4	7.7	7.5	7.7	Potenciómetro Puente deWheatstone
<b>Cond. Eléctrica (mmhos/cm)</b>	1.02	0.95	0.97	0.78	Titulación
<b>Carbonatos de calcio (%)</b>	36.18	29.70	32.55	37.34	Walkley Black
<b>Materia orgánica (%)</b>	1.20	0.95	0.78	0.70	Kjeldahl
<b>Nitrógeno total (%)</b>	1.52	1.40	0.79	0.82	
<b>Arena (%)</b>	31.01	38.35	43.68	36.68	
<b>Limo (%)</b>	28.00	21.67	17.00	22.00	Bouyoucos
<b>Arcilla (%)</b>	40.99	39.98	39.32	41.32	
<b>clasificación</b>	Mig.Ar	Mig.	Mig.	Mig.	Trin. textural



**Fig. 3.2 Triángulo de texturas para la clasificación.**

### 3.2 Diseño del sistema de riego.

#### 3.2.1 Uso consuntivo

La Evapotranspiración del cultivo se estima de multiplicar la Evapotranspiración potencial por un coeficiente de cultivo ( $K_c$ ). La Evapotranspiración potencial se calcula para cada hora o cada 24 horas, en nuestro caso con tanque evaporimetro la Etp calculada cada hora no minimiza el grado de error

## considerablemente con lo cual podemos lograr una buena calendarización de los riegos.

Como ya se menciona en la literatura la demanda de los cultivos de referencia puede ser calculada por los métodos descritos anteriormente en este caso se utilizo el método de Penman-Monteith para los meses más críticos el cual se multiplica por un coeficiente de cultivo.

$$E_{tr} = E_{to} * K_c \text{ para rosales } K_c = 0.60$$

$$E_{tr} = 6.0\text{mm} * 0.60 = 3.6 \text{ mm/día}$$

$$E_{tr} = E_{to} * K_c \text{ para el césped } K_c = 0.82$$

$$E_{tr} = 6.0 \text{ mm} * 0.82 = 4.92 \text{ mm/día.}$$

### **3.2.2 Diseño hidráulico para la sección de riego.**

Como se menciona en la revisión de literatura, el sistema debe tener la suficiente capacidad de proporcionar la cantidad de agua requerida por los cultivos bajos las condiciones más críticas, así como la determinación de los diámetros y las longitudes de las tuberías principales, distribuidoras, regantes y también dimensionar las cargas de operación en las entradas de las secciones.

En el caso para césped, rosales y el área de microaspersión el sistema de aspersión se diseño tomando en consideración la evapotranspiración máxima correspondiente de los meses más críticos del año los cuales se presentan de mayo a Julio el cual corresponde a de 6.00 mm/día, el área destinada para el paisaje o jardines es de 62,102.60 m<sup>2</sup> equivalentes a 6.210.26 Has. En la aplicación de la ingeniería hidráulica para el diseño del sistema y para lograr un paisaje atractivo atraves de la aplicación de la hidráulica básica. En la zona de árboles están plantados en un marco de 7 \* 7 m como se muestra en la figura 3.3.

Información requerida

Diámetro de la línea principal

Dr 0 101.6 mm

Longitud total de la línea principal

$$L_t = 888.7 \text{ m}$$

Espaciamiento entre emisores = 7 m

Espaciamiento entre líneas = 7 m

Espaciamiento entre aspersores = 14.7, 10 y 4.2 m

Espaciamiento entre líneas regantes en césped 14.7, 10 y 4.2 m

Coefficiente de variación (propuesto)  $C_v = 0.05$

Factor de ajuste por operación

$$F_1 = 7 \text{ días /semana}$$

Factor de ajuste en las áreas

$$F_2 = 0.77$$

Evapotranspiración crítica

$$E_{tc} = 6.00 \text{ mm/día}$$

Pendientes en la principal = 15 %

$$Q_{\text{emisor}} = 7.153 H^{0.54}$$

$$H = 14.06 \text{ m}$$

$$Q_{\text{emisor}} = 29.82 \text{ lph}$$

Esto para la sección de emisores

Determinación del volumen bruto diario.

$$V_b = \frac{E_e * E_r * E_{Tr} * F_1 * F_2}{1 - C_v}$$

Donde.

$V_b$  = Volumen bruto diario (lpd)

$E_e$  = Espaciamiento entre aspersores (m)

$E_r$  = Espaciamiento entre líneas (m)

$E_{Tr}$  = evapotranspiración máxima (mm/día)

$F_1$  = Factor de ajuste por operación

$F_2$  = Factor de ajuste en las áreas

$C_v$  = coeficiente de variación de gasto

$$Vb = \frac{7 * 7 * 6.0 * 0.75 * 1}{0 - 0.05} = 232.1 \text{ LDA}$$

El tiempo de riego del volumen bruto diario se termina con el gasto del aspersor seleccionado.

$$Ta = \frac{Vb}{Qasp} = \frac{232.1}{29.82} = 8 \text{ hora, } 18 \text{ minutos}$$

Estos para los periodos de máxima demanda.

Conociendo el volumen bruto diario en el área es muy importante conocer la Necesidad Diaria de la Planta (NDP) que se obtiene mediante la siguiente ecuación.

$$NDP = \frac{\pi * (D)^2 * Etr}{0.9 * 0.95} = \frac{3.1416 * (1)^2 * 6.5}{0.9 * 0.95} = 23.88 \text{ lts / día}$$

Conociendo la NDP se tiende a calcular el tiempo de riego para satisfacer la necesidad de la planta instalando emisores base naranja con 20 psi de carga y 29.82 lph = 113.55 gph.

$$tr = \frac{NDP}{Qlph} = \frac{23.88 \text{ lts / día}}{29.82 \text{ lph}} = 48.0 \text{ minutos}$$

**Calculo de las perdidas de carga permisibles en la sección.**

La diferencia de presiones de operación entre los emisores con las condiciones más desfavorables en una sección de riego no debe de exceder el 21% de la

carga del ultimo emisor, esto para conservar la diferencia de gastos menor o igual al 10% de gasto del ultimo emisor.

$$HPs = K2 * He$$

Donde.

K2 = Carga permisible en la sección

He = Carga del emisor

$$HPs = 0.21 He = 0.21 * 14.06 = 2.9 \text{ m}$$

En aquellos trabajos donde no se utilizan reguladores de presión en la tubería distribuidora ni en las tuberías regantes, se aplica el criterio para la disipación de energía del 30 y 70 % , en la distribuidora y en la regente respectivamente (Peña 1996) por lo que las perdidas de carga permisibles en la regante y en la distribuidora quedan de la siguiente manera:

Perdida de carga permisible en la regante:

$$HP_r = 0.21 * 0.30 * 14.06 = 0.886 \text{ m}$$

Perdida de carga permisible en la línea distribuidora:

$$HP_d = 0.21 * 0.70 * 14.06 = 2.066 \text{ m}$$

Calculo del número máximo de emisores en la tubería regante, las tuberías (regantes y distribuidoras) tienen un número máximo de salidas las cuales dependen de la topografía del terreno.

Para esto utilizamos la ecuación 25 y los coeficientes de la tabla 2.3.5 según sea el caso.

$$N = \frac{(K2 * H \pm d)^{1/3} * D^{16/9}}{K3 * Ee^{1/3} * Q^{2/3}}$$

Hacemos la primera iteración considerando cero pendiente es decir:

$$d = 0$$

$$D = 15 \text{ mm}$$

$$He = 14.06 \text{ mca}$$

$$Ee = 7 \text{ m}$$

$$Qe = 29.82 \text{ lph}$$

Ahora considerando un pendiente del 1% a favor

$$d = \frac{S * Es * N}{(1 + S^2)^{1/2}}$$

$$N = \frac{(0.063 * 14.06 \pm 0)^{1/3} * 15^{16/9}}{0.615 * 7^{1/3} * 29.82^{2/3}} = 10.5$$

**La tabla 3.2 Muestra la determinación del número máximo de salidas en la regante con pendiente en contra sección de emisores.**

No. de iteraciones	D(m)	N
1	0	10
2	0.9	5
3	0.3	9
4	0.6	7

Por lo tanto podemos adoptar 10 emisores como máximo sin pendiente, sin embargo en nuestro sistema solo se cuenta con siete emisores por cada línea regante.

Perdida de carga en la tubería regante con pendiente en contra , para esto utilizamos la ecuación 26 y la tabla 2.3.6 según el caso.

Donde:

$$H_{tr} = \frac{K5 * E_s * Q^2 * N^3}{D^{16/3}}$$

Es = Espaciamiento entre salidas (m)

Q = Gasto en el ultimo emisor (lph)

N = Número de salidas en la tubería

D = Diámetro interior de la tubería (mm)

$$H_r = \frac{0.2324 * 7 * 29.82^2 * 7^3}{15^{16/3}} = 0.290 \text{ m.}$$

Por lo tanto se verifica con la perdida de carga permisible más el desnivel del terreno.

$$H_p = 0.063 * 14.06 + 0.6 = 1.48 \quad 1.48 > 0.290$$

Calculo del número máximo de salidas en el distribuidor para esto se obtiene el gasto medio en la regante por lo que se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q_r = (1 + 0.21P)^{0.25} + 29.82$$

$$Q_r = (1 + 0.21 * .30)^{0.25} + 29.82 = 30.278$$

$$Q_{ent} = 30.278 * 7 = 211.9$$

Utilizando la ecuación 25 y la tabla 2.3.5 se determina en número máximo de salidas en el distribuidor.

$$N = \frac{(0.14 * 14.06 \pm 0.6)^{1/3} * 19^{16/3}}{0.623 * 7^{1/3} * 211.9^{2/3}} = 5.8$$

Y con pendiente de 0.6% en contra

H = 14.06 m

D = 19 mm

Q = 211.9

Es= 7 m

**Tabla No. 3.3 Determinación del número máximo de salidas en el distribuidor con pendiente en contra.**

No. iteraciones	d(cm)	N
1	0	5
2	0.6	5.5
3	0.32	7
4	0.3	7

Cabe mencionar que 7 son el número de salidas que tiende a salir en la línea distribuidora, aunque podemos instalar 10 como máximo con lo cual no mantendríamos la uniformidad del riego como se mantiene con siete salidas.

Perdida de carga en el distribuidor (pendiente en contra) utilizando la ecuación 26 y la tabla 2.3.6.

$$Hd = \frac{0.2489 * 7 * 211.9^2 * 7^3}{19^{16/3}} = 1.47$$

$$HPd = 0.147 * He + d$$

$$HPd = 0.147 * 14.06 + 0.19 = 2.256 m$$

$$2.256 > 1.47$$

Para que el diseño sea aceptado debe de cumplir la siguiente condición

HPs  $\geq$  H sección

$2.9 \geq 0.290 + 1.47 = 1.47$  por lo tanto si se acepta

Perdidas de carga en las Válvulas solenoides.

$$hf = \left[ 0.2083 \left( \frac{100}{C} \right)^{1.852} \left( \frac{Q^{1.852}}{D^{4.87}} \right) \right] 0.433$$

$$hf = \left[ 0.2083 \left( \frac{100}{150} \right)^{1.852} \left( \frac{12^{1.852}}{63.5^{4.87}} \right) \right] 0.433 = 0.528 \text{ m}$$

Donde:

0.2083 = Constante dimensional

C = Cédula del material

Q = Gasto en lps

D = Diámetro en mm

Las perdidas de carga localizadas se considera que se pierde el 10% de la perdida de carga total (sin considerar el desnivel del terreno) por lo que quedan de la siguiente manera:

$$H_{loc} = H_t * 0.10$$

$$H_{loc} = (14.06 + 1.47 + 0.290) * 0.10$$

$$H_{loc} = (15.82) * 0.10 = 1.582 \text{ m}$$

Calculo hidráulico en las secciones de césped y rosales.

Determinación del volumen bruto diario.

$$Vb = \frac{Ee * El * ETr * F1 * F2}{1 - Cv}$$

$$Vb = \frac{14.7 * 14.7 * 6.0 * 0.75 * 2}{1 - 0.05} = 2047.168 \text{ LPD}$$

El tiempo que se requiere para aplicar el volumen bruto diario, se obtiene con el gasto del aspersor seleccionado y este es de 26.5 lph con una carga de 40 psi.

$$T = \frac{Vb}{Qasp}$$

$$T = \frac{2047.168}{1590} = 1 \text{ hora, } 28 \text{ minutos}$$

Luego de conocer el volumen bruto diario para el área tenemos que conocer la necesidad hídrica del césped y de los rosales para poder determinar la lámina de riego que se tiene que aplicar y en que tiempo.

Calculo de las perdidas de las perdidas permisibles en las sección de césped y rosales, la diferencia de las presiones de operación entre los aspersores en condiciones desfavorables en una sección de riego no debe de excederse del 21% de la carga en los aspersores. Esto se hace para conservar la diferencia de gastos menor o igual al 10% en los aspersores.

$$Hpa = Ko * He$$

Donde:

Ko = Carga permisible en la sección

He = Carga del aspersor psi

$$HPs = 0.21 * 40 = 8.4 \text{ m}$$

Como ya mencionamos anteriormente en trabajos donde no se utilizan reguladores de presión en la línea distribuidora, ni en las regantes se aplica el criterio para la disipación de energía en un 30 y 70 % en la regante y distribuidora.

Perdida de carga permisible en la regante

$$H_{pr} = 0.21 * 0.30 * 40 = 2.52 \text{ m}$$

Perdida de carga permisible en la distribuidora

$$H_{pd} = 0.21 * 0.70 * 40 = 5.88 \text{ m}$$

El número de aspersores en el área se determina de acuerdo a la superficie total a regar, pero es muy importante el arreglo que se realiza, con el objetivo principal de cubrir toda el área por lo que el criterio cambia con relación al los cálculos anteriores.

Sección 1 Si el cálculo fuera entre el área a regar y tomar en cuenta la distancia

$$N = \frac{\text{Area } m^2}{L_{asp} * Dw}$$

$$N = \frac{1062.57}{10 * 10} = 10 \text{ Aspersores}$$

entre aspersores y el diámetro de cobertura de estos nos resultaría lo siguiente:

Donde:

N = Número de aspersores

A = Area en metros cuadrados

L = separación entre aspersores (m)

Dw= diámetro de cobertura o diámetro de mojado (m)

El número real de aspersores para esta área es de 13 aspersores para poder cubrir toda el área sin dejar esquina o parte alguna sin regar. Debido a que en este tipo de

trabajos el objetivo principal es el cubrir toda el área proyectada, para tener una mejor vista del sistema al momento de ponerlo a funcionar.

Perdida de carga en la tubería regante utilizando una pendiente cero, para esto utilizamos la ecuación 26 y la tabla 2.3.6.

$$H_{tp} = \frac{K_s * E_s * Q^2 * N^3}{d^{16/3}}$$

$$H_{tp} = \frac{0.2324 * 10 * 13.7^2 * 10^3}{19.05^{16/3}} = 0.062 \text{ m.}$$

Lo cual tenemos que verificar con la perdida de carga permisible mas el desnivel del terreno.

$$H_p = 40 + 0.6 * 0.06$$

$$H_p = 2.55$$

$$2.55 > 0.065$$

Para obtener el gasto medio en la regante utilizamos la siguiente ecuación

$$Q_r = (1+0.21P)^{0.25} * Q_n$$

$$Q_r = (1+0.21*0.30)^{0.25} * 13.7$$

$$Q_r = 13.91$$

$$Q_{entr} = 13.91 * 13 = 180.84 \text{ lts}$$

Para que esta sección sea aceptada tiene que cumplir la siguiente condición

$$H_{ps} \geq H_{sección}$$

$$8.4 \geq 5.95 \text{ por lo tanto si se acepta.}$$

Perdida de carga en las válvulas solenoides

$$hf = \left[ 0.2083 \left( \frac{100}{150} \right)^{1.852} \left( \frac{12}{63.5_{4.87}} \right) \right] 0.433 = 0.528 \text{ m}$$

Las pérdidas de carga localizadas considerando el 10% de las pérdidas totales sin considerar la pendiente del terreno.

$$H_{loc} = H_t * 0.10$$

$$H_{loc} = (40 + 5.88 + 0.065) * 0.10$$

$$H_{loc} = 3.42 \text{ m}$$

Sección 2

$$H_p = 8.4 \text{ m}$$

$$H_{pr} = 2.52 \text{ m}$$

$$H_{pd} = 5.88 \text{ m}$$

Número de aspersores 31

Perdida de carga en al tubería regante

$$H_{r2} = \frac{0.2324 * 14.7 * 26.5^2 * 14.7^3}{19.05^{16/3}}$$

$$H_r = 1.16 \text{ m}$$

$$2.52 > 1.16$$

Perdida de carga en la tubería distribuidora

$$H_{d2} = 0.21 * 0.70 * 40 = 5.88 \text{ m}$$

Como en este trabajo las áreas (lotes) son grandes con casi dimensiones iguales se utiliza el mismo criterio para el arreglo de los aspersores, lo único que cambia es el número de aspersores las pérdidas de carga presentan variaciones muy pequeñas que son despreciables en el funcionamiento del sistema.

### 3.2.3 Diseño de las tuberías principales y distribuidoras

De acuerdo a la distribución de las áreas a regar se seleccionaron 2 diámetros diferentes para la conducción principal y las tuberías de distribución. De material PVC de 4" y 2" pulgadas respectivamente, esto para lograr minimizar las pérdidas de carga por fricción al máximo, que también nos sirve para poder hacer la selección de la bomba que se usará en el sistema.

Perdidas de carga por conducción en la tubería principal, las pérdidas de carga en la conducción principal se calcularon por la ecuación de Hazen – Williams.

$$H_f = \frac{1.21 * 10^{10}}{D^{4.87}} \left( \frac{Q}{C} \right)^{1.852} L$$

Donde.

$H_f$  = Pérdidas de carga por fricción (m)

**D = Diámetro interior (mm)**

Q = Gasto lps

L = Longitud de la tubería (m)

C = Cédula del material (adimensional) obtenido de tablas

**Tabla No. 3.4 Perdidas de carga en la conducción principal**

<b>tramo</b>	<b>L (m)</b>	<b>D (mm)</b>	<b>Q (lps)</b>	<b>Hf (m)</b>
<b>0-1</b>	38.27	101.6	12	0.617
<b>0-2</b>	116.22	101.6	12	1.876
<b>0-3</b>	260.80	101.6	12	4.209
<b>0-4</b>	315.00	101.6	12	5.084
<b>0-5</b>	323.00	101.6	12	5.213

<b>0-6</b>	352.90	101.6	12	5.690
<b>0-7</b>	422.40	101.6	12	6.818
<b>0-8</b>	412.43	101.6	12	6.657
<b>0-9</b>	463.46	101.6	12	7.480
<b>0-10</b>	480.00	101.6	12	7.747
<b>0-11</b>	493.30	101.6	12	7.962
<b>0-12</b>	579.00	101.6	12	9.345
<b>0-13</b>	580.00	101.6	12	9.361
<b>0-14</b>	666.20	101.6	12	10.75
<b>0-15</b>	888.70	101.6	12	14.344

Perdidas de carga hidráulica en el sistema

<b>Tabla No. 3.5 Perdidas en el sistema</b>	
<b>Concepto</b>	<b>Perdida de Carga (m)</b>
<b>Aspersor</b>	28.77
<b>Perdida en la sección crítica</b>	7.4
<b>Perdida en Solenoide</b>	17.95

<b>Perdida localizada</b>	3.42
<b>Perdida en la Conducción</b>	14.35
<b>Total</b>	71.89

**Carga hidráulica total requerida**

Para determinar la carga potencial por posición, se toma en cuenta el desnivel topográfico desde el punto más crítico de la sección del sistema de riego hasta la bomba.

<b>Tabla No. 3.5 Carga total requerida</b>	
<b>Concepto</b>	<b>H (m)</b>
<b>Perdida de carga total</b>	71.89
<b>Desnivel del terreno</b>	2.5
<b>Altura de bombeo</b>	3.5
<b>Total</b>	77.89

Luego de haber determinado la carga total requerida y el gasto máximo a conducir por cada sección de riego operacional. Se procede a la selección de la bomba más adecuada de acuerdo a los modelos que existen en el mercado que cumpla con la eficiencia, las necesidades del sistema y del proyecto mismo. La elección del equipo de bombeo se lleva a cabo basándose en las curvas características de cada tipo,

Para cubrir todas las necesidades del sistema se requiere una bomba capaz de suministrar 12 lps con una carga total de 77.89 MCA, por lo que se selecciono una bomba de 9.5 HP En la figura 3.2.3 se muestra la curva característica de la bomba seleccionada para cubrir las necesidades del sistema de riego, lo cual existe una formula para poder determinar la potencia de la bomba la cual presentamos de la siguiente

$$HP = \frac{Q * H}{76 * Eff} .$$

manera.

Donde:

HP = Potencia de la bomba

Q = Gasto en (lps)

H = Carga total en (m)

Eff= Eficiencia de bombeo

### **3.3 Materiales**

Todos los materiales y equipos utilizados durante la instalación y operación del sistema se presenta más adelante en el cual se incluye (apéndice 1), el material para la instalación del sistema de riego por aspersión (césped y rosales de jardín), así como para el subsistema de riego por microaspersión (arboles de ornato).

### **3.4 Instalación del sistema de riego**

Los trabajos de instalación se realizaron de acuerdo a las etapas que se plantearon en el proyecto de la siguiente manera:

1. Excavación de zanjas para instalar las tuberías principales, estas se realizaron utilizando retrocavadoras.
2. Excavación de zanjas para la instalación de las tuberías distribuidoras.
3. Tendido de tuberías, accesorios y las unidades de control para llevar a cabo su instalación.

4. Cubierta parcial de las zanjas.
5. Una vez terminada la instalación es muy importante hacer pruebas de verificación de existencia de fugas y al mismo tiempo aprovechar para el lavado de las tuberías (purgado).
6. Tendido y conexión de las regantes a las distribuidoras.
7. Lavado general del sistema con las terminales de las regantes abiertas.
8. Sellado de las terminales de las regantes, con el sistema ya en funcionamiento.

### **3.5 Calendarización del riego.**

Como se menciona en la revisión de literatura el propósito fundamental de los riegos es el de proporcionar o abastecer a las plantas el agua que necesitan para su crecimiento óptimo y tener una buena calidad.

El riego se debe aplicar en las cantidades necesarias para mantener el nivel de la humedad en un volumen en que las raíces la tomen en el momento más oportuno. Las necesidades hídricas se pueden determinar a través de un balance de humedad, ya que este es un método eficaz, simple para pronosticar los riegos a tiempos reales lo cual se considera a las entradas y salidas de los flujos de agua en la zona radical del cultivo.

La lámina de riego se calculo con la siguiente ecuación.

$$Lr = \frac{(Pcc - NPH)Da * Prof.}{100}$$

Donde:

$L_r$  = Lámina de riego aplicable (cm)

$P_{cc}$  = Contenido de humedad a capacidad de campo (%)

$NPH$  = Nivel de humedad permisible al momento del riego (%)

$D_a$  = Densidad aparente del suelo ( $\text{grs}/\text{cm}^3$ )

$Prof$  = Profundidad radical del cultivo (cm)

De acuerdo al muestreo de suelo realizado con el cual se determino el contenido de humedad que es de un 18% base peso tenemos que:

$$L_r = \frac{(39 - 18) 1.1 * 10}{100} = 2.31 \text{ cm}$$

$$L_r = 23.1 \text{ mm}$$

### 3.5.1 Determinación de la lluvia efectiva ( $P_e$ )

La determinación de la lluvia efectiva se estima mediante la ecuación de (Ogrosky y Mocku), propuesta por el servicio de conservación de suelos de lo Estados Unidos, con el cual se han realizado muchas investigaciones para encontrar un método que nos permita hacer estimaciones aceptables de la lluvia que puede aprovechar el cultivo y se ha llegado a la conclusión que la fórmula de Ogrosky y Mocku es una de las más confiables para el cálculo de la precipitación efectiva además de ajustarse a una función empírica.

$$P_e = C_p * P$$

$$C_p = \frac{\frac{ET_c}{P}}{1.53 + 0.8 \frac{ET_c}{P}}$$

Donde:

$C_p$  = Coeficiente de conversión de lluvia aprovechable (mm)

$P_e$  = Precipitación efectiva (mm)

$P$  = Precipitación Observada (mm)

Calculo de la precipitación observada

$$P = \frac{Q * 100}{S * L}$$

Donde.

$P$  = Precipitación (mm)

$Q$  = Gasto (lph)

$S$  = Separación entre aspersores (m)

$L$  = Longitud de las líneas (m)

$$P = \frac{26.5 * 100}{14.7 * 88.2} = 2 \text{ mm}$$

$$C_p = \frac{\frac{6.5}{2}}{1.53 + 0.8 \frac{6.5}{2}} = 0.78$$

$$P_e = 0.78 * 2 = 1.56 \text{ mm}$$

Por lo tanto el tiempo de riego ( $t_r$ ), para satisfacer la demanda de cada sección de riego queda de la siguiente manera.

$$Tr = \frac{Lra}{P}$$

Donde:

Tr = Tiempo de riego (minutos)

Lra = Lámina de riego aplicable (cm)

P = Precipitación (mm)

$$Tr = \frac{23.1 \text{ mm}}{2 \text{ mm}} = 11 \text{ Minutos, } 56 \text{ Segundos}$$

### 3.5.2 Para la determinación de la evapotranspiración (Etr)

Para la determinación de la evapotranspiración de referencia (Etr) se utiliza el método de Penman-Monteith, este método es muy preciso para poder determinar Etp dado que incluye la mayoría de los factores que intervienen en la pérdida de agua de las plantas.

Para este cálculo de evapotranspiración potencial se utiliza la siguiente ecuación, expresada de la siguiente manera:

$$ETp = \frac{\Delta(Rn - G)}{\lambda(\Delta + \gamma)} + \frac{\gamma Mw(DPV)}{RKr_v(\Delta + \gamma)}$$

El logaritmo de Penman-Monteith requiere de datos posicionales para calcular la evapotranspiración potencial.

Latitud de Santa María (grados) = 25° 51'

Longitud (grados) = 101° 09'

Longitud del meridiano más cercano = 108°

Altitud de la estación = 1017 msnm

Donde.

Etp = evapotranspiración potencial (mm/día)

Rn = Radiación neta (Kw/m<sup>2</sup>)

G = Densidad del flujo de calor del suelo (Kw m<sup>-2</sup>)

Mw = Masa molecular del agua (0.018 Kg. Mol<sup>-1</sup>)

R = Constante universal de los gases ( $8.3 \cdot 10^{-3}$   
Kj/mol/K)

DPV= Déficit de presión de vapor del aire (Kpa)

$\lambda$  = Calor latente de evaporización del agua (2450 Kj Kg<sup>-1</sup>)

rv = Resistencia de la capa límite y superior foliar al flujo de vapor (s m<sup>-1</sup>)

$\Delta$  = Pendiente de la función de presión de vapor a saturación (Pa °C<sup>-1</sup>)

$\gamma$  = Constante psicométrica aparenta (Pa °C<sup>-1</sup>)

Una vez calculada la Etp se procede a calcular la evapotranspiración de los cultivos, las cuales ya se calcularon anteriormente con la siguiente ecuación.

$$E_{tri} = E_{tp} * K_c$$

Donde:

Etri = Evapotranspiración real al inicio del día (mm/día)

Etp = Evapotranspiración potencial (mm/día)

Kc = Coeficiente del cultivo seleccionado dimensional

### 3.5.3 Determinación de la percolación profunda (PP).

La percolación profunda es la lámina de riego que se infiltra por debajo de la zona radical de los cultivos. Esta depende de la lámina aplicada y de la textura del suelo ya que los suelos de textura fina tienen una mayor capacidad para almacenar agua, que los suelos de textura media o gruesa. Si una lámina se aplica ( riego o lluvia efectiva), en cantidades mayores a la lámina máxima que un suelo puede retener a cierta profundidad, esta se estará infiltrando más allá de las zonas de raíces, por lo que no estará disponible para la planta, constituyendo lo que se conoce como percolación profunda.

Por ejemplo, si se quiere incrementar el contenido de humedad volumétrico de un nivel ( $\theta_{v1}$ ) a otro nivel ( $\theta_{v2}$ ) a una determinada profundidad ( $P_r$ ) si asumimos una precipitación efectiva de 10 mm, un contenido de humedad inicial de 0.197 y final de 0.217  $P_{rof} = 0.13m$ , calcular la percolación probable.

$$\theta_{v2} = \theta_{cc} = 0.217$$

$$\theta_{v1} = \theta_{inicial} = 0.197$$

$$P_e = 10 \text{ mm}$$



<b>Lr(mm)</b>	33.6	31.2	33.6	31.5	33.6	31.4	33.6	32.2
---------------	------	------	------	------	------	------	------	------

### **3.6 Automatización del sistema de riego.**

Como los sistemas de microriego y riego por aspersión requieren de riegosmas frecuentes en la aplicación del agua, es muy importante la adopción de la automatización de retroalimentación y dispositivos de control.

Conocer las condiciones climáticas en tiempos reales es de gran importancia para la programación de los calendarios de riego y la aplicación de los mismos ya que nos facilitan la administración y planificación de los recursos, como la energía eléctrica, el agua etc. En los niveles técnicos y racionales.

Los usuarios deben de tener un sistema automatizado capaz de realizar funciones como las siguientes:

El control del sistema gobernado maneja desde un sistema de programación híbrido para uso residencial (figura 3.6), el cual se caracteriza por la sencillez de programación, con una pantalla de cristal líquido que nos facilitan las lecturas e interpretaciones del mismo controlador. Control de instrumentación de entrada (sensores agrometeorológicos, flotadores para arranque de bombeo), y de las salidas válvulas solenoides (figura 3.6.1), que están diseñadas para los sistemas automáticos de riego para césped, campos de , campos deportivos, y para terrenos de producción agrícola.



**Figura No. 3.6. Controlador híbrido.**

### **Características de los controladores híbridos.**

Programación extra sencilla, dos programas independientes, Función de presupuesto de agua que permite ajustes del 10% al 200%, Pantalla de cristal líquido, gabinete hermético, de plástico resistente, para montaje al aire libre. Incluye un transformador interno, reloj con formato de 24 horas (0:00 a 23:59), puerta con bisagra para fácil acceso al fusible y a la

tira de terminales, arranque manual de estaciones, circuito de válvula maestra o relé de arranque de bomba, Circuito de recarga de la batería, Batería recargable incluida.

### **Especificaciones.**

Tiempo de riego de las estaciones: 0 a 99 minutos, en incrementos de 1 minuto, horas de inicio automático:3 por programa por día (hasta 6 horas de inicio al usar los dos programas). El riego puede iniciar en cualquier cuarto de hora, calendarios de programación: ciclos fijos de 2,3 o 5 días, o ciclo variable de 7 días.

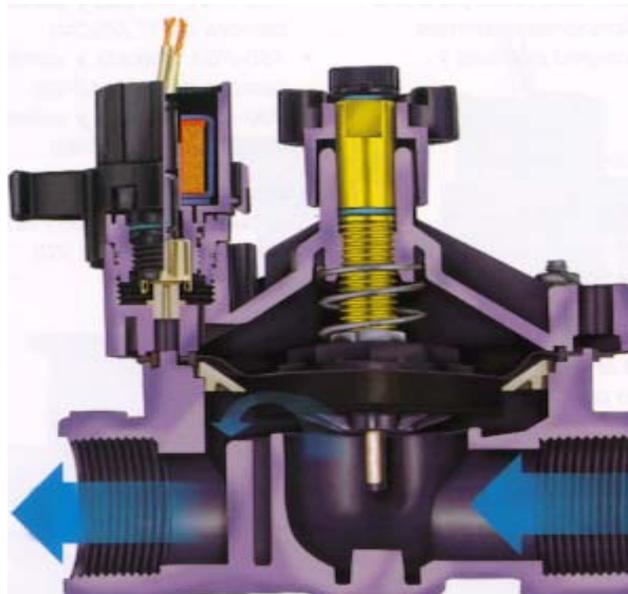
### **Especificaciones eléctricas.**

Entrada requerida: 117 V, 60 Mz – 230 V, 50 Hz, Salida: 24- 26.5 V, 1.5<sup>a</sup>, fusible 1.5<sup>a</sup>, protección contra sobre voltaje: Los lados de entrada y salida de las estaciones están protegidos por varistores

incorporados, circuito de respaldo: una batería NiCd recargable de 9 V conserva los programas durante 7 días y mantiene la hora con una precisión de 2% si hay una interrupción en el suministro eléctrico (batería incluida), capacidad de estaciones multiválvula: hasta 2 válvulas solenoides de 24 V, 7 VA por estación, más una válvula maestra, programa predeterminado: después de una interrupción prolongada en el suministro eléctrico, cada estación regará durante 10 minutos por ciclo, iniciando 8 horas después de que se reanude el suministro eléctrico. El riego se llevará a cabo una vez por día de un ciclo fijo de 2, 3 o 5 días. Botón de avance manual de las estaciones para funcionamiento semiautomático del sistema, en la pantalla se indica la estación que se está operando y el tiempo de riego restante.

### **Dimensiones.**

Anchura: 19.1 cm (7 1/2"), Altura: 22 cm (8 5/8"),  
Profundidad: 11.4 cm (4 1/2").



**Figura No. 3.6.1 Válvulas solenoide utilizada.**

## **Características**

Válvula de nylon reforzado con fibra de vidrio, amplia gama de presiones operativas 1.4 a 13.8 bar (20 a 200 psi), purga interna y externa, solenoide de una sola pieza con núcleo cautivo, filtro de nylon autolimpiante en la serie PEB. El dispositivo depurador de la serie PES-B, accionado por la membrana, tiene un raspador que limpia el filtro de acero inoxidable cada vez que la válvula se abre o cierra, solenoide de bajo consumo de energía, tallo de control del caudal, purga externa mediante el tornillo de purgado, regulador de presión PRS-B opcional para asegurar el máximo rendimiento del aspersor.

### **Especificaciones**

Caudal.: 0.06 a 45 m<sup>3</sup>/h (0.25 a 200 GPM),  
presión: 1.4 a 13.8 bar (20 a 200 psi), temperatura:  
66°C (150°F).

### **Dimensiones**

100-PEB/100-PES-B: Entrada y salida  
roscada BSP y NPT hembra de 1" (26/34), altura:  
16.5 cm (6 1/2"). Longitud: 10.2 cm (4"),

## IV.- RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1 Resumen de los cálculos del diseño hidráulico.

La tabla 4.1 muestra los resultados del diseño hidráulico en las secciones de riego por aspersión y microaspersión.

<b>Tabla 4.1 Resumen de los cálculos hidráulicos del diseño del sistema de riego.</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Sección 1 microaspersión</b>	<b>Areas de césped y rosales una sección</b>
<b>Ee (m)</b>	7	14.7
<b>Er (m)</b>	7	14.7
<b>H (mca)</b>	14.06	28.77
<b>Q (lph)</b>	29.82	1590
<b>Vb/día</b>	231.1	2047.17
<b>Hps (m)</b>	2.9	8.4
<b>Htr (m)</b>	0.290	0.065
<b>Hp (m)</b>	1.48	2.55
<b>Qr (lph)</b>	30.278	13.91
<b>Qentrada (lph)</b>	211.9	84.00
<b>Hd (m)</b>	1.47	
<b>Hf. Válvulas</b>	0.528	0.528
<b>H. local</b>	1.582	3.42

Realizando un análisis del cuadro presentado se puede observar que las pérdidas de carga en las secciones se encuentran por debajo de las pérdidas de carga permisibles lo que nos indica una mejor distribución uniforme del gasto y una mejor uniformidad en los riegos.

También se puede observar que los porcentajes de las pérdidas de carga en los distribuidores se encuentran abajo de los 33 %, lo que significa que no se está utilizando el número máximo de regantes permisibles en los distribuidores. Esto nos indica que en algún momento que se requiera podamos agregarle más regantes en los distribuidores. De acuerdo a las condiciones topográficas del terreno fue necesario diseñar de esta manera el sistema para el óptimo funcionamiento.

#### **4.2 Plano del proyecto**

En la página siguiente se muestra el plano del sistema de riego por aspersión, indicando cada una de las áreas de riego

#### **4.3 Requerimientos de Riego.**

Los requerimientos de riego estimado de acuerdo a la ecuación de Penman-Monteith es una de las mejores alternativas que existen en nuestros días, la cual nos permite estimar la demanda evapotranspirativa que incluyen en las pérdidas de agua en el cultivo (césped y rosales). La demanda de agua en césped y rosales se incrementa en el comienzo de la época de calor, es decir el déficit de vapor de presión en la atmósfera es más alto lo que permite cavida en la atmósfera, para observar más rápido el vapor de agua desprendido de la superficie del suelo o cultivo por lo cual se incrementa Etc. Otro factor que provoca el incremento de Etc en estos periodos es el fenómeno aerodinámico ya que en la época de primavera se presentan vientos fuertes, que remueven el vapor alrededor de las plantas disminuyendo la saturación del mismo que en ausencia se acumularía y eventualmente se saturaría con una consiguiente reducción en la tasa evaporativa.

En el verano la Etc se incrementa debido a dos aspectos importantes, a la radiación solar y el contenido de humedad. En esta época la zona (trópico de cáncer) recibe los rayos del sol de una manera vertical provocando que la Etc se incremente a gran escala ya que la radiación solar es el principal factor que afecta la demanda hídrica de los cultivos.

#### 4.4 Balance de Humedad

En el balance hídrico diario nos permite la estimación del contenido de humedad en las zonas exploradas por las raíces logrando con mayor precisión la determinación, cual será la lámina explorada de riego aplicada que los cultivos demandan en el momento adecuado. En el cuadro siguiente presentamos los resultados de una simulación de un balance de humedad. Para un periodo de 8 días.

<b>Tabla No. 4.3 Simulación de un balance de humedad para un periodo de 8 días</b>								
<b>Día</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
<b>Li(mm)</b>	23.1	33.6	31.2	33.6	31.5	33.6	31.4	33.6
<b>Et(mm)</b>	2.40	3.24	3.23	3.01	3.40	2.37	2.27	2.16
<b>Pe(mm)</b>	0.87	0.76	0.00	0.54	0.59	0.32	1.09	0.00

<b>R (mm)</b>	8.70	0.00	3.10	0.00	2.61	0.00	2.90	0.00
<b>PP(mm)</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Lr(mm)</b>	33.6	31.2	33.6	31.5	33.6	31.4	33.6	32.2

En la tabla 4.3 deducimos los requerimientos hídricos de césped y rosales, lo cual se determinan con mayor precisión minimizan las perdidas de agua por percolación profunda. Con lo que se puede eficientar el uso y manejo del agua, la operación del sistema de riego. Podemos apreciar que usando los intervalos de riego fijos las cantidades de agua por aplicar varían muy poco con relación a la primera aplicación. Ya que tenemos que agregar la cantidad de agua para alcanzar la capacidad de campo.

Es muy importante solo restablecer un valor muy pequeño ó crítico de la humedad en el suelo, para evitar que las plantas alcancen un estrés que le pueda causar efecto o daño.

#### **4.5 Automatización del Sistema de Riego**

Este sistema de riego por aspersion fue automatizado por válvulas solenoides y por programadores híbridos los cuales están diseñados para el riego automático de áreas de césped y rosales, en aplicaciones residenciales, municipales, y en áreas de producción agrícola. Con el cual se aplican tiempos de riego calculadas básicamente con la necesidad hídrica de las plantas, esto de acuerdo al balance de humedad en el suelo, para determinar la lámina de aplicación. Estas aplicaciones nos permiten alcanzar altos niveles de eficiencia en la aplicación del agua.

Pero también es de mucha importancia saber que en las épocas de primavera-verano, se tienen que incrementar los tiempos de aplicación del riego debido a que las plantas demandan una cantidad mayor de agua que en el resto del año por los factores que se mencionan anteriormente y que intervienen en la Etc.

## **V CONCLUSIONES**

La Automatización de los sistemas de riego por aspersión y microaspersión resulta fundamental en estos momentos. Por la competencia cada vez más liberalizada que existe en la actividad agrícola, Industrial, Abastecimiento urbano y en la hidráulica estética de paisajes, ya que podemos calcular con una mayor exactitud los calendarios de riego en los casos del sector agrícola y jardines, estos estimados a través de parámetros relacionados con las necesidades de las plantas.

Entregar el agua a tiempo y de manera suficiente en los casos de la industria y de abastecimiento urbano, con la calidad necesaria para su uso.

Además de reducir ampliamente el número de operarios en las actividades agrícolas y en la jardinería, el sistema nos permite operar los riegos por día, por semana, mensual, etc. De manera automática o manual. Como conclusión la automatización de

los sistemas de riego es una de las técnicas más efectivas para el control de las aplicaciones del agua en los sistemas con un alto grado de precisión y eficiencia. Ahorrando hasta un 60% en la mano de obra y un 35% de la energía.

- ❖ Los diferentes aspersores y emisores que fueron seleccionados para este sistema de riego se adaptan correctamente a las condiciones y características del suelo. Por lo tanto no se tienen problemas de encharcamiento en la superficie del suelo. Cumpliendo con el diseño y la operación
- ❖ El sistema de flotadores electrónicos utilizados para el encendido del motor de la bomba, así como para la apertura y cierre de las válvulas solenoides funcionan correctamente de acuerdo con las especificaciones del programador híbrido seleccionado.
- ❖ Podemos concluir que de acuerdo al sistema de riego por aspersión y su funcionamiento total, con el nivel de automatización seleccionado nos ahorramos volúmenes de agua hasta un 35%, originando con ello un óptimo crecimiento en el césped y los rosales.
- ❖ En la tabla No. 5 Se presenta el consumo de agua por mes, comparando el sistema de riego automatizado y un testigo de uso mecánico o manual.
- ❖ En la UAAAN se requiere de una materia curricular que incluya la Arquitectura estética, la automatización y efectos especiales tales (cascadas, puentes, lluvias, provocadas por la ingeniería hidráulica).

<b>Tabla No. 5 Consumo comparativo en dos sistemas diferentes.</b>		
<b>Meses</b>	<b>Sistema automatizado (mm/m)</b>	<b>Sistema convencional (mm/m)</b>
<b>Mayo 1999</b>	150	197
<b>Junio 1999</b>	180	225
<b>Julio 1999</b>	195	253.5
<b>Agosto 1999</b>	210	277.20
<b>Septiembre 1999</b>	182	233

<b>Octubre 1999</b>	160	200
<b>Noviembre 1999</b>	140	182
<b>Diciembre 1999</b>	120	138
<b>Enero 2000</b>	110	140.8
<b>Febrero 2000</b>	130	182

## **VI RECOMENDACIONES**

- ❖ Se recomienda que para controlar los gastos en las entradas de cada sección de riego se adopte o instale medidores de gasto. En cada una de las entradas de control independiente automático.
- ❖ La operación la debe realizar personal calificado ya que es de mucha importancia y se recomienda proteger el sistema de riego automatizado para no tener daños que nos provoquen una alta tensión en la energía eléctrica.

- ❖ No se debe permitir que el sistema sea operado por mano de obra no calificada ya que se podría tener resultados que afecten la eficiencia del equipo.
  
- ❖ También es recomendable la incorporación de válvulas automáticas en el cabezal de descarga que en un momento dado nos permiten el cierre y apertura de este para poder aplicar fertilizantes, agroquímicos y las diferentes soluciones químicas para la medición de: Ph, CE, flujo, etc.
  
- ❖ Es muy importante la determinación del crecimiento de los días grados, para ajustar el coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) así como la profundidad radical a las condiciones climáticas del lugar. Esto nos permitirá mejores aplicaciones del sistema de riego para poder programarlo en todo su ciclo.

## VII BIBLIOGRAFIA

Aranda M.h.H. Estimación de los requerimientos de riego del cultivo de alfalfa, mediante un balance hídrico., UACH. Chapingo México.

Brown P. 1996 Landscape and irrigación October, 1996 pags: 66-78

B.C. Ministry of Agriculture and Food Irrigation Manual Canada

Ed. British Columbia 1999 321 paginas

Burt. P. E., PH. D. Charles M. Drip and microirrigación San Luis Vender Guilik. Ted W. Obispo, California U.S.A. 1994 Ed. ITRC. 261 paginas

Dr. J.M. Tarjuelo Martin –Benito El Riego por Aspersión y su Tecnología  
Madrid, Barcelona, México 1995 Ed. Multi Prensa 491 paginas

Doorenbos y Kassan. 1986 Efecto del Agua Sobre el Rendimiento de lo Cultivos.  
Monografía de riego y drenaje de la FAO. N° 33, Roma

Gilberto Sotelo Ávila. Hidráulica general 1. Fundamentos.  
España. México. Venezuela. Colombia. Ed. Limusa. Noriega editores 559  
paginas.

IMTA. Manual para diseño de zonas de riego pequeñas. Jiutepec, Morelos.,  
México 1997.

J. Bosasell By Michael Micro-Irrigation Design Manual U.S.A.  
Ed. James Hardie irrigación Inc. 1990

Michael Mason, Sr.L.O. Snoday Irrigación Products forthe professional  
Weather Matic 1996

Norero A. 1976 Evaporación y transpiración.  
CIDIAT, Mérida, Venezuela.

Ogrosky H. O. Y Mockus 1964. "Hydrology of Agricultural Land" Hanbook of Applied hydrology. Ed. Ven te Chow, Megraw Hill c.. New York.

Peña P. E. Hidráulica de sistemas de riego presurizado I. Diplomado de ingeniería de riego. Colegio de Posgraduados Montecillo Edo. de México.

Rodrigo L. J. 1996 Riego localizado II. Programas informativos 2ª Ed. Mundi prensa. Madrid España.

Sampat A. Gavande. Física de suelos Principio y aplicaciones., México. Ed. Limusa. 347 paginas.

SARH 1981 Métodos Avanzados de Riego tomo 1 México D.F.

Torres R. Edmundo. 1985., Agrometeorología México., D.F. Ed trillas.

Weems T. 1991., Errigación. Journal. January/febreary pags: 10-16.

Zazueta Fedro. 1963. Irrigación System Controller. 55-AGE28 agricultural Engineering. Cooperative Extensión Service. Departament Florida inc.

Zazueta Fedro 1992. Micro-Irrigación., ICFA internacional, Inc. México.

Zazueta Ranahan Fedro S. Sistemas Fijos y Portatiles de Riego por Aspersión San Antonio TX. 78219U.S.A.ICRA. INTERNACIONAL INC.

# **APENDICE**

## **Listado de materiales**

1.	1	Bomba Centrífuga Marca Berkeley modelo B3 zpl de 9 Hp trifásico 220/440 volts.
2.	1	Arrancador de bomba Subtrol de 15 Hp 3° 220 volts
3.	1	Caja de control automático para riego de 20 subunidades
4.	256	Aspersores I-41 marca Hunter plástico pop-Up para manejar un gasto de 0.5 lps contra una carga de 40 psi
5.	400 mts.	De tubo de PVC RD26n 160/psi 4” RD 41 100 psi 1 ps ASTM 2241
6.	2,520	De tubo de PVC RD26 160 psi 2” ASTM 2241 ips

	mts.	
7.	240 mts.	Tubo PVC 3" RD 26 160 psi CLE ASTM D224 1ps
8.	12	Válvulas selenoides 2" Rain Bird/ automaticas
9.	1,26 0 mts.	De tubo 1 ½" PVC RD 26 160 psi ASTM 2241
10.	457 3 mts	De cable eléctrica #14 UNIER GROCINO
11.	250	Tee PVC de 2" Ced 40 IPS
12.	250	Codo PVC 2" Ced 40 1ps
13.	20	Codo PVC 4" 45° Ced 40 ASTM D 2241

14.	40	Codo PVC 3"x90° Ced 40
15.	40	Tee PVC 3" x Ced 40
16.	48	Tee 4" Ced 40
17.	250	Tee PVC 2x2x3/4"
18.	250	Tee PVC 1 1/2x 1 1/2 x 3/4
19.	250	Tee PVC 1"x1"x3/4
20	126	Aspersor Rain Bird SPS 50 de Boquilla ajustable 1/2"