

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE INGENIERÍA



“Diseño e instalación de un sistema de riego por aspersión automatizado en el Gran Bosque

Urbano, Saltillo, Coahuila.”

Por:

José Antonio García Velázquez

Tesis:

Presentado como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Febrero del 2011.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

Diseño e instalación de un sistema de riego por aspersión automatizado en el Gran Bosque Urbano, Saltillo, Coahuila.

Realizado por:
José Antonio García Velázquez

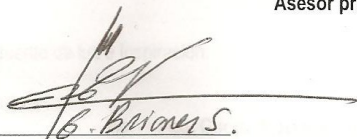
Que somete a consideración Del H. Jurado Examinador como requisito parcial para obtener el

Título de:
INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

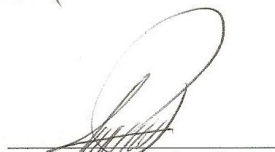
Aprobada por el Comité de Tesis



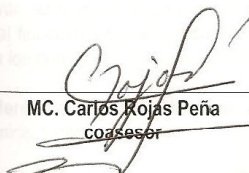
MC. Luis Edmundo Ramírez Ramos
Asesor principal



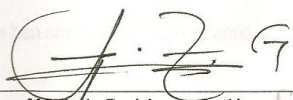
MC. Gregorio Briones Sánchez
Coasesor



Ing. Tomás Reyna Cepeda
Coasesor



MC. Carlos Rojas Peña
coasesor



MC. Luis Rodríguez Gutiérrez
Coordinador de la División de Ingeniería

Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"



Coordinación de
Ingeniería

Buenvista, Saltillo, Coahuila, México.

AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento a los docentes del **Departamento de Riego y Drenaje**, quienes me han brindado todo su apoyo en el transcurso de mis estudios y por compartir sus conocimientos y experiencias.

A mi **Alma Terra Mater**, por brindarme la oportunidad de lograr una de las metas más importantes de mi vida y brindarme los medios para superarme.

Al **Mc. Luis Edmundo Ramírez Ramos**, Director de Tesis, por guiarme en la elaboración de este proyecto y por su colaboración técnica para la culminación del presente.

Al **Mc. Gregorio Briones Sánchez**, por la el apoyo y dedicación; por el valioso tiempo que le dedico en la revisión, por sus sugerencias y comentarios acertados para la correcta realización. Gracias.

Al **Mc. Tomas Reyna Cepeda**, por su colaboración en la revisión y sugerencias para llevar a cabo la terminación de esta tesis.

Al **Mc. Carlos Rojas Peña**, por la aportación de sugerencias para la realización de este trabajo.

DEDICATORIAS

A **Dios**, fuente de luz e inspiración.

A mis **padres**

Mario Fco. García Morales y Anna Velázquez Sánchez

Por traerme a este mundo y durante el proceso, experimentar diversas circunstancias (algunas fáciles y otras muy difíciles) a la cual finalmente le llamo **vida**. Les agradezco la formación que me dieron desde la infancia, el respeto a los demás y finalmente comprender la realidad.

A mis **hermanos: Vicente, Mario, Mercedes, Tobias y Domingo Luisbi**, ya que fueron el motor de superación y en la formación académica, y personal.

A mi hija, **Fátima Guadalupe García Ramírez** por ser una fuente de inspiración para seguir adelante y darle un giro positivo a mi vida.

A mis **familiares** que siempre me han ofrecido su apoyo y cariño.

INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	1
ABSTRACT	1
INTRODUCCIÓN	2
OBJETIVO GENERAL	3
OBJETIVOS ESPECIFICOS	3
HIPÓTESIS	3
REVISION DE LITERATURA	
2.1 Bosque urbano	4
2.1.1 Beneficios ecológicos.....	4
2.2 Generalidades de los pastos	5
2.2.1 Origen y distribución de los pastos	5
2.2.2 Clasificación taxonómica de los pastos	5
2.2.3 Descripción botánica de los pastos	6
2.3 Relación Agua – Suelo.....	6
2.3.1 El agua	6
2.3.2 Tipos de agua en el suelo	6
2.3.3 El suelo	7
2.3.4 Contenido de agua en el suelo	8
2.3.5 Factores que afectan a la retención de agua	10
2.4 Propiedades físicas del suelo.....	10
2.4.1 Textura	10
2.4.2 Estructura	12
2.4.3 Densidad aparente	14
2.4.4 Densidad real.....	15
2.5 Relación agua – planta	15
2.5.1 Necesidades hídricas de los cultivos	15
2.5.2 Necesidades hídricas del pasto	15
2.5.3 Evapotranspiración	16
2.5.4 Métodos para estimar evapotranspiración.....	16
2.5.4.1 Método de Penman – Monteit	17
2.5.4.2 Método de Harry F. Blannet y Wayne D. Criddle	17
2.6 Uso de aguas tratadas aplicadas en la irrigación	21
2.6.1 Tratamiento de aguas residuales urbanas en México.....	21
2.6.2 Características y tratamientos de agua residuales	22
2.6.3 Etapas de tratamientos de aguas residuales	22
2.6.4 El agua regenerada	27
2.7 Sistema de riego por aspersión.....	28

2.7.1 Antecedentes históricos.....	28
2.7.2 Situación del riego en México.....	29
2.7.3 Historia de sistemas de riego por aspersión.....	30
2.7.4 Aspersión.....	30
2.7.5 Características y tipos de aspersores.....	31
2.7.5.1 Aspersores no giratorios.....	33
2.7.5.2 Aspersores giratorios.....	33
2.7.6 Tipos de sistemas de riego por aspersión.....	34
2.7.6.1 Sistemas convencionales o estacionarios.....	34
2.7.6.2 Sistemas mecanizado o maquinas de riego.....	37
2.7.7 Ventajas e inconveniente en el sistema de riego por aspersión.....	39
2.8 Componentes de la instalación de un sistema de riego por aspersión.....	40
2.8.1 Cabezal de riego.....	40
2.8.2 Fertirrigación.....	41
2.8.3 Red de distribución.....	42
2.9 Elementos de control y de regulación de flujos.....	42
2.10 Selección de aspersores.....	43
2.10.1 Diseño agronómico de sistema de riego por aspersión.....	45
2.11 Abastecimiento de agua.....	47
2.12 Velocidad permisible en la tubería y cálculo de diámetros.....	47
2.13 Diseño hidráulico.....	48
2.13.1 Cálculo hidráulico de la pérdida de carga.....	48
2.14 Automatización de sistemas de Riego.....	50
MATERIALES Y METODOS	
3.1 Aspectos generales.....	51
3.2 Caracterización y reconocimiento del terreno.....	51
3.3 Clima y localización.....	51
3.4 Tipo de suelo y topografía.....	52
3.5 Fuente de abastecimiento.....	52
3.6 Especies a regar.....	52
3.7 Selección del sistema de riego.....	53
3.7.1 Selección aspersor.....	53
3.7.2 Diseño agronómico.....	53
3.7.3 Cálculo de necesidades de agua.....	53
3.8 Determinación de los parámetros de riego.....	54
3.9 Diseño hidráulico del sistema.....	55
RESULTADOS	
4.1 Diseño del sistema de riego.....	58

4.1.1 Diseño agronómico	58
4.1.1.1 Determinación de ETp	59
4.1.2 Diseño hidráulico	61
CONCLUSIONES	65
Recomendaciones para el manejo del riego por aspersión	66
BIBLIOGRAFIA	67
APENDICE A	69
APENDICE B	75

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Capacidad de almacenaje de agua en diferentes combinaciones suelo y vegetación.	8
Tabla 2. La textura y su variación en diámetros.	11
Tabla 3. Rangos de partículas de correspondientes a las distintas clases texturales.	12
Tabla 4. Tipos de estructuras y sus características.	13
Tabla 5. Datos climáticos para estimar la evapotranspiración.	17
Tabla 6. Porcentaje de horas luz en el día para cada mes del año.	19
Tabla 7. Coeficientes globales de usos consuntivos (K _G) para diferentes cultivos	20
Tabla 8. Porcentajes de eliminación de microorganismos en el tratamiento convencional de aguas residuales	24
Tabla 9. Depuración para la eliminación de bacterias coliformes.	25
Tabla 10. Límites máximos permisibles de contaminantes.	26
Tabla 11. Límites máximos permisibles para contaminantes básicos	27
Tabla 12. Límites máximos permisibles para metales pesados y cianuros	27
Tabla 13. Valores de Coeficiente de fricción para la ecuación de Hazen – Williams	49
Tabla 14. Coeficiente de Salidas Múltiples, CSM., con método Christiansen.	49
Tabla 15. Temperatura de Saltillo, Coahuila.	51
Tabla 16. Precipitación de Saltillo, Coahuila.	51
Tabla 17. Determinación del Aspersor.	53
Tabla 18. Información de la parcela	58
Tabla 19. Información de fuente de abastecimiento de agua	58
Tabla 20. Información general del cultivo	58
Tabla 21. Coeficiente de cultivo, K _c para el pasto	59
Tabla 22. Temperatura y precipitación de Saltillo.	60
Tabla 23. Determinación de la ETp con Blaney & Criddle y lamina de riego.	60
Tabla 24. Característica del aspersor.	61
Tabla 25. Análisis hidráulico para la sección más alejada.	62
Tabla 26. Análisis hidráulico para la sección más elevada.	63
Tabla 27. Selección de la bomba (Catalogo de Berkeley y Valsi).	63
Tabla 28. Selección de Electroválvula (Rain Bird).	64

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Relación en alturas de las distintas fases de un volumen prismático de suelo.	9
Figura 2. Triangulo de las Texturas.	11
Figura 3. Efecto de la estructura sobre la infiltración.	14
Figura 4. Partes de una planta de tratamiento de agua.	25
Figura 5. Aspersores giratorios con brazo oscilante.	33
Figura 6. Tipos de sistemas de riego por aspersión	34
Figura 7. Sistema de riego por aspersión fijo.	36
Figura 8. Sistemas de riego por aspersión fijo enterrado.	36
Figura 9. Cañón de riego con carrete.	37
Figura 10. Demostración de recorrido de pivote central.	38
Figura 11. Lateral de avance frontal.	38
Figura 12. Equipos para fertirrigar.	41
Figura 13. Válvula reguladora de Caudal	43
Figura 14. Válvula reguladora de presión.	43
Figura 15. Causas de la presión en el aspersor.	44

Diseño e instalación de un sistema de riego por aspersión automatizado en el Gran Bosque Urbano, Saltillo, Coahuila. (*Design and installation of a sprinkler irrigation system automatized in the Gran Bosque Urbano, Saltillo, Coahuila.*)

Por: José Antonio García Velázquez

RESUMEN

Por ser el agua un elemento indispensable para la vida e imprescindible. El diseño del sistema de riego por aspersión automatizado y su instalación en el Gran Bosque Urbano fue principalmente para el pasto y aprovechar las aguas tratadas para la aplicación del riego. Tomando en cuenta para el diseño los factores agronómicos del cultivo y climáticos del lugar (K_c , Temperatura, textura del suelo, evaporación máxima, etc.) y para el diseño hidráulico se utilizó la ecuación de Hazen - Williams; además de que el sistema de riego es automatizado eléctricamente con válvulas solenoides de 24 V y un sistema de control (controlador Rain Bird). El funcionamiento de la automatización es la siguiente: El controlador toma energía (24 Volts) de una fuente de poder (transformador) y al iniciar el ciclo de riego; previamente programado, envía una señal eléctrica a la válvula para la apertura de la misma, tres segundos antes del término del tiempo de riego el controlador abre la siguiente válvula y así sucesivamente. Los resultados que se pretenden alcanzar son: hacer un uso eficiente de la poca disponibilidad del agua, mayor control del riego y la fertilización, reducir los costos de mano de obra. Finalmente, este proyecto trae consigo el beneficio a la sociedad, proporcionándole un área verde.

Palabras claves: *Riego por aspersión, diseño de un sistema de riego, selección de piezas, válvulas solenoides, accesorios para el sistema de riego.*

ABSTRACT

Water is an indispensable and essential element for life. The design of the sprinkler irrigation system fully automatized and installation in the Gran Bosque Urbano was mainly to water the grass with treated wastewater. Taking into account for the design the agronomic factors and climate of the place (K_c , temperature, soil texture and peak evapotranspiration) and for the hydraulic design the equation of Hazen – Williams was applied, besides that automatized irrigation system is designed several 24 V solenoid valves and two controller system (Rain Bird controller). The operation of automation is as follows: The controller takes power (24 volts) from an energy power source (transformer) and at the beginning of the watering cycle, previously scheduled, it sends an electrical signal to the valve to open it, three seconds before the end of the run time the controller opens the next valve and so on. The results to be achieved are efficient use of the limited availability of water, greater control of irrigation and fertilization, reducing labor costs. Finally, this project promotes the benefit to society, providing a green area.

Keywords: *Sprinkler irrigation, design of an irrigation system, selection of parts, solenoid valves, fittings for the irrigation system.*

INTRODUCCIÓN

En las estimaciones más aceptadas, poco más del 97% del volumen de agua existente en nuestro planeta es agua salada y está contenida en océanos y mares; mientras que apenas algo menos del 3% es agua dulce o de baja salinidad. Del volumen total de agua dulce, estimado en unos 38 millones de kilómetros cúbicos, poco más del 75% está concentrado en casquetes polares, nieves eternas y glaciares; el 21% está almacenado en el subsuelo, y el 4% restante corresponde a los cuerpos y cursos de agua superficial (lagos y ríos).

El agua dulce almacenada en el subsuelo es muy superior a la existente en las corrientes superficiales; pero sólo es aprovechable en parte, debido a limitaciones físicas y económicas. Gran parte del agua dulce aprovechable transita y se almacena en los primeros 1,000 m a partir de la superficie del terreno, donde se alojan los acuíferos de mayor permeabilidad, de renovación más activa, económicamente accesibles y con agua de buena calidad. El 63% del agua para uso consuntivo proviene de fuentes superficiales (ríos, arroyos y lagos), el resto de aguas subterráneas. (CONAGUA).

La cuarta parte de nuestro planeta está formada por tierras áridas y un sexto de la población mundial vive en ellas. En estas zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas existen diversos factores, entre los cuales, variaciones climáticas y explotación inadecuada de los recursos naturales. El incremento de la población en la actualidad hace proporcional a la demanda de alimentación por parte de la misma. Al mismo tiempo, ese incremento en la población hace que exista menos disponibilidad de espacio para cada ser humano, generándose así las llamadas manchas urbanas.

En el centro, norte y noroeste del país, que contiene el 77% de la población y genera el 87% del PIB, ocurre solamente el 31% del agua renovable. (CONAGUA). Para este caso, se hace la ampliación del Gran Bosque Urbano.

La ciudad de Saltillo se caracteriza por ser una región semiárida, donde hay una precipitación promedio de 300 a 350 mm por año, desaprovechándose todo los escurrimientos superficiales. El incremento de la población de saltillo ha generado la búsqueda de nuevas áreas recreativas aparte de parques y áreas ecológicas. Teniendo en cuenta, la creación de un Gran bosque Urbano.

El reuso del agua ha influido mucho en la agricultura, llevado a cabo con norma oficial. El uso del agua tratada en la irrigación surge por la necesidad de aplicar agua a las plantas que difícilmente se obtiene de agua de pozo con buena calidad. Para las grandes ciudades del país son importantes los bosques urbanos.

OBJETIVO GENERAL

- Diseño del Sistema de Riego por Aspersión en el Gran Bosque Urbano.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Instalación del sistema de Riego por Aspersión.
- Aprovechar las aguas tratadas para la aplicación del riego
- Beneficiar a la sociedad, proporcionándole un área verde.

HIPÓTESIS

- El uso del agua tratada será benéfica para el riego sin ningún problema.
- Los sistemas de riego por aspersión difusores fijos son rentables para el riego en jardinería.
- Un proyecto de sistema de riego por aspersión automatizados, tiene un costo de operación bajo.

REVISION DE LITERATURA

2.1 Bosque urbano

Hay muchas acciones que se demuestran en la sociedad, la conformación de una nueva cultura de cuidado del ambiente y un manejo racional de los recursos, que se traduzcan en la protección e incremento de los servicios ambientales de las áreas verdes y el suelo de conservación, y, en consecuencia, se incida en mejorar la calidad de vida de la población.

Hasta hace poco tiempo la perspectiva sobre la función de las áreas verdes urbanas se ha restringido a aspectos recreativos y de esparcimiento, sin otorgarle importancia a los servicios ambientales que ofrecen a la ciudad. Sin embargo, este punto de vista ha comenzado a cambiar en los últimos años. Se ha generado una creciente conciencia de que estas áreas proporcionan múltiples beneficios, más allá de los meramente estéticos y recreativos, mejorando la calidad de vida de sus habitantes. Las áreas verdes públicas representan espacios de interacción social, con posibilidades para la recreación, el esparcimiento y la cultura, que fomentan la cercanía del ser humano con la naturaleza.

Las áreas verdes ayudan a mejorar las condiciones climáticas y de higiene ambiental de los centros urbanos.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda un mínimo de 12.5 m² de áreas verdes por habitante dentro de la ciudad para garantizar una buena calidad de vida. (Secretaría de Medio Ambiente, Cd. de México, 2006).

En una ciudad se necesitan 78 árboles para producir el CO₂ que requiere una persona. (Daniel Rivas Torres).

2.1.1 Beneficios ecológicos

Muchos beneficios adicionales están asociados con la vegetación urbana y contribuyen al funcionamiento de los ecosistemas urbanos a largo plazo y al bienestar de los residentes urbanos. Éstos incluyen el hábitat de la fauna silvestre y la biodiversidad enriquecida. Aunque el hábitat de la fauna es visto a menudo como benéfico, bajo algunas circunstancias pueden haber problemas y costos asociados a la fauna silvestre, como los daños a plantas y estructuras, excrementos, amenazas a las mascotas y transmisión de enfermedades.

Debido a su valor y a sus bajas tasas de crecimiento, los árboles se convierten en los más claros indicadores de la sustentabilidad de un área verde. Las contribuciones más importantes de los árboles incluyen la estética, limpieza del aire, retención de la lluvia, atracción de la fauna, aporte de sombra y valores simbólicos a la comunidad.

Es un **bosque urbano** porque se encuentra cerca de áreas construidas densamente pobladas y tiene una fuerte influencia social. Sin embargo, para que sea sustentable se requiere mantener altos niveles de beneficios ambientales, ecológicos, sociales y económicos a través del tiempo, es decir, de forma sostenida. Los bosques urbanos son ecosistemas en los cuales los árboles son el aspecto determinante.

El "Brundtland Commission Report" (Oxford University Press, England, 1987) define un bosque urbano como: la manera de manejar nuestros bosques es conociendo las necesidades del presente,

sin comprometer la habilidad de futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades utilizando prácticas que integren el crecimiento, nutrición y cosecha de árboles para adquirir productos útiles; conservando la calidad del suelo, aire, agua, vida silvestre y hábitat para peces. (Jafet Padua Dávila).

2.2 Generalidades de los pastos

Los pastos que se utilizan en jardinería son de la familia *papilionenaceae*, estas son plantas herbáceas o arbustos, con hojas pinnadas y estipuladas.

En los pastos utilizados para jardinería la reproducción de los nuevos tejidos durante el crecimiento nace principalmente con base a 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 hace florar las capas superficiales nutrientes que se filtraron hasta el subsuelo por las fuertes lluvias o por los riegos.

2.2.1 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 40 para el abastecimiento de praderas y el cual estas forman parte de la flora indígena de las tres regiones principales del origen de los pastos en globo terráqueo (Harley y Williams, 1995), en los que destacan principalmente las zonas eurosiana en las que se encuentran 20 de las 40 especies comerciales, mientras que en la zona de África oriental se encuentran 8 especies y una región sudamericana subtropical, con 4 especies.

De las 40 especies de pasto se han obtenido 12 variedades para el uso en jardines, 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, forma de los tallos, hojas y cabezas florales.

2.2.2 Clasificación taxonómica de los pastos

Los pastos de acuerdo a la sistemática empleada por Rodríguez, C. B. están ubicado dentro del:

Reino----- Plantae
División----- Antofita
Clase----- Monocotiledónea
Orden----- Glomiflorae
Tribu----- Festuceae

Familia----- Poaceae
Subfamilia----- Estucoidae
Genero----- Bromas

2.2.3 Descripción botánica de los pastos

Sistema radicular. La raíz de los pastos es de tipo fibrosa que une las partículas del suelo formando un césped o carpeta. El desarrollo radicular es bueno con un 75 % de las raíces de los primeros 30 cm de profundidad y con raíces absorbentes a profundidades superiores a los 60 cm, la profundidad radicular en si es de aproximadamente 1 m.

Tallo. Es cilíndrico y a menudo hueco, excepto en los nudos juntares, que son de tejidos sólidos. Las porciones huecas entre los nudos son los entrenudos. En unos cuantos pastos, los entrenudos basales pueden ser bulbosos o estar hinchados. Los nudos forman los pastos de inserción de las hojas, que están dispuestas en dos hileras, alternándose en lados opuestos.

Hoja. 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 renuevo dentro de las axilas de las hojas viejas es el método de ramificación en los pastos.

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

2.3 Relación Agua – Suelo

2.3.1 El agua

El **agua** no solo es importante para las plantas, ya que juega con muchos roles en el suelo, actuando como disolvente, hidratante, amortiguador de temperatura, agente dilatador y debilitador de textura del suelo, entre otros. (Terrón y Hernández, 1922).

2.3.2 Tipos de agua en el suelo

Cuando se ha tenido un aporte de agua – de lluvia o riego –, la primera parte del agua se infiltra rápidamente por acción de la gravedad y se perderá en poco tiempo en capas profundas del suelo, a este primer estado se llama **agua gravitacional**. El resto del agua, sin embargo, será retenida entre las partículas del suelo y estará disponible para ser absorbida por las raíces (aunque una parte será perdida por la evaporación), denominándose así a este estado **agua capilar**. Una cantidad mínima de agua donde ya no está disponible para la planta, ya que se encuentra

depositada en las partículas de suelo, donde la tensión de la partícula de suelo tiene una mayor tensión que la de la raíz, por lo que el estado del agua se llama **agua higroscópica**.

2.3.3 El suelo

El suelo es el material mineral no consolidado sobre la superficie de la tierra; que ha estado sujeto e influenciado por factores genéticos y del medio ambiente como son el material madre, clima, incluyendo efectos de humedad, temperatura, los macro y microorganismos y la topografía, todos ellos actuando en un período de tiempo y originando un producto, el suelo, que difiere del material del cual es derivado en muchas propiedades y características físicas, químicas, biológicas y morfológicas (U.S.D.A.).

El suelo se considera como un sostén de las plantas y como un depósito de agua. Según Javier Martínez, las plantas necesitan de forma continua, mientras que las lluvias se producen de manera intermitente. Esto supone un desajuste temporal entre necesidades y aporte de agua. El suelo compensa este desfase, pues actúa como el depósito que permite el suministro constante a las plantas. Sin embargo, unos suelos tendrán mejores características para hacer un depósito de agua que otros. Para medir de forma útil la capacidad que tiene un suelo de actuar como almacén de agua se definen los siguientes conceptos:

- *Capacidad de campo*: es la máxima cantidad de agua que puede retener un suelo en condiciones de libre drenaje, en suelos no saturados. La capacidad de retener agua en el suelo depende de la textura, estructura y de otros factores como la disposición de los horizontes en el perfil del suelo.
- *Punto de Marchitez Permanente*: contenido de agua en el cual las plantas se marchitan de forma irreversible. Depende de la textura del suelo, la estructura, la salinidad, la potencia del sistema radicular, entre otros.

Tabla 1. Capacidad de almacenaje de agua en diferentes combinaciones suelo y vegetación (según Thornthwait – Mather, 1957).

Tipo de suelo	Zona radical (m)	Humedad aprovechable (mm)
a) Espinacas, guisantes, remolacha, zanahoria, etc.		
A.- Arena fina	0.5	50
B.-Franco arenoso	0.5	75
C.- Franco limoso	1	125
D.- Franco arcilloso	0.4	100
E.- Arcilloso	0.25	75
b) Maíz, algodón, tabaco, cereales		
A.- Arena fina	0.75	75
B.-Franco arenoso	1	150
C.- Franco limoso	1	200
D.- Franco arcilloso	0.8	200
E.- Arcilloso	0.5	150
c) Alfalfa, pastos, arbustos		
A.- Arena fina	1	100
B.-Franco arenoso	1	150
C.- Franco limoso	1.25	250
D.- Franco arcilloso	1	250
E.- Arcilloso	0.67	200
d) Montes, frutales		
A.- Arena fina	1.5	150
B.-Franco arenoso	1.67	250
C.- Franco limoso	1.5	300
D.- Franco arcilloso	1	250
E.- Arcilloso	0.67	200
e) Bosques desarrollados		
A.- Arena fina	2.5	250
B.-Franco arenoso	2	300
C.- Franco limoso	2	400
D.- Franco arcilloso	1.6	400
E.- Arcilloso	1.17	350

2.3.4 Contenido de agua en el suelo

Si se toma una fracción de suelo no se observa a simple vista los poros, donde en realidad en ella coexisten tres fases: sólida, líquida y gaseosa. Imaginémonos esa fracción de suelo en forma de un prisma rectangular de altura “h”. Se supone que toda la fase sólida está en la parte más baja formando un prisma de una altura determinada, encima habrá otro prisma de altura “d” para la fase

liquida, y arriba otro correspondiente a la fase gaseosa. Por tanto, el contenido de agua expresado en porcentaje es la relación entre el volumen de agua y el volumen total, pero como la base de ambos volúmenes prismáticos es la misma, es equivalente a la relación de alturas.

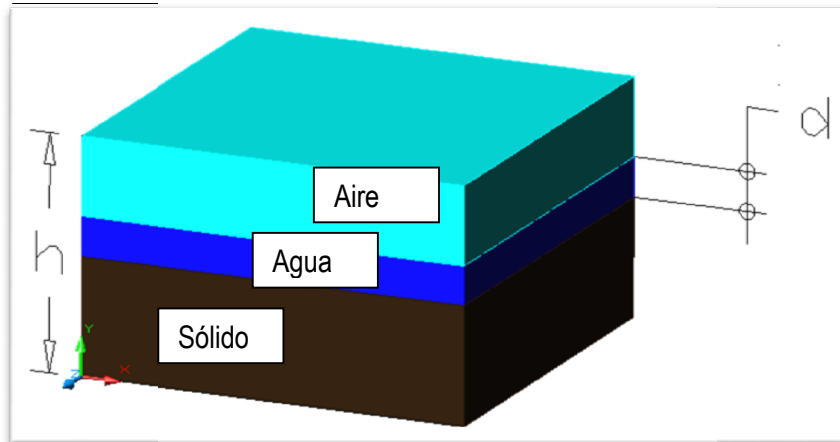


Figura 1. Relación en alturas de las distintas fases de un volumen prismático de suelo.

Así, el contenido de agua (θ) de un suelo expresado como porcentaje de volumen corresponde a la fórmula:

$$\theta = \left(\frac{d}{h}\right) * 100$$

Dado que el contenido del agua se expresa como un porcentaje de altura, el agua contenida en un suelo o el agua caída en una precipitación se puede expresar también en milímetros. Es decir, cuando se habla de que la lluvia caída es de tantos milímetros significa que de no haber infiltrado sobre el terreno habría una capa de agua de esos milímetros.

Cuando se habla de agua contenida o precipitación caída sobre un área de dimensiones determinadas se refiere a volúmenes en litros por metro cuadrado o a metros cúbicos por hectárea, lo que es equivalente a expresar la cantidad de agua en milímetros: ya que un litro equivale a un dm^3 y un m^2 son 100dm^2 , por tanto, si dividimos ambos términos, obtenemos $1\text{m}^2 = 100\text{dm}^2$, $1\text{m}^3 = 1000\text{dm}^3$, por tanto, si dividimos ambos términos, obtenemos $1\text{m}^3 = 10\text{m}^2$. Luego decir que la precipitación es de $1\text{m}^3/\text{m}^2$ es lo mismo que decir que es de 1 mm. Si operamos de de igual manera con los metros cúbicos por hectárea obtenemos 1 mm de agua equivale a $10\text{m}^3/\text{ha}$.

Con los conceptos de capacidad de campo y punto de marchitamiento, se define un nuevo término que es el agua útil o conocido como **lamina de riego L_r** , antes de obtener esa lámina de riego se procede a obtener cuánta agua puede estar disponible totalmente en el suelo, obteniéndose mediante la siguiente ecuación:

$$H D T = \left(\frac{\theta c - \theta p}{100}\right) * D a * z r$$

Donde:

θc contenido de humedad a capacidad de campo, %.

$\theta_{p m}$ = contenido de humedad a punto de marchites permanente, %.

D_a = densidad aparente, $gr \cdot cm^{-3}$.

Z_r = zona radicular o profundidad radicular, cm

Ahora obteniéndose lo anterior, la planta tiene cierta capacidad de absorción de agua en función de la profundidad radicular lo cual generalmente no puede llegar el suelo a punto de marchites permanente por lo que se vería afectada, por ello se aplica una lámina que satisfaga su necesidad sin ningún problema, y es la siguiente:

$$L r = \frac{A H D}{100} * H D * z r$$

$L r_n$ = Lamina de riego neto

AHD= abatimiento de la humedad disponible, %

HDT= humedad disponible total; cm/m

z_r = profundidad radicular, cm

2.3.5 Factores que afectan a la retención de agua

La cantidad de agua almacenada en un suelo y la mayor o menor facilidad de absorción de por parte de las raíces de las plantas, dependen de las características del suelo. Estas características –o factores del suelo- afectan a la capacidad de almacenamiento y al potencial hídrico, que por consiguiente determinan la retención de agua en el suelo son:

- La *textura y porosidad*
- La *estructura*
- El *contenido de materia orgánica*
- El *tipo de arcilla*

Los puntos anteriores son las propiedades físicas del suelo y se explican en el siguiente tema.

2.4 Propiedades físicas del suelo

En el suelo, podemos distinguir diferentes propiedades interactuando entre sí originando a su vez una diversidad de tipos de suelos, en función de la incidencia de cada una de ellas.

En el desarrollo de este tema mencionaremos las propiedades físicas más importantes del suelo: textura, estructura, densidad aparente, densidad real, porosidad, distribución de poros por el tamaño, consistencia, infiltración, permeabilidad, conductividad hidráulica, percolación y color.

2.4.1 Textura

La textura juega un papel fundamental, en el cálculo de láminas de riego, de lavado, en el proyecto y diseño de sistemas de riego y drenaje.

La textura se refiere a las proporciones porcentuales de las agrupaciones por tamaños de los granos individuales en una masa de suelo. Se refiere específicamente a los porcentajes de arcilla, del limo y de las arenas de menos de 2 mm de diámetro. Si las partículas mayores de 2 mm están presentes en cantidades significativas, al nombre de la textura se le agregará el adjetivo de gravoso o pedregoso según sea el caso.

Se han propuesto muchas escalas granulométricas, pero dos de ellas son las más usadas en la edafología: El Sistema Internacional, propuesto por Atterberg, y el sistema usado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (U.S.D.A. En nuestro país, se ha extendido el sistema del U.S.D.A. En el siguiente cuadro se presentan ambos:

Tabla 2. La textura y su variación en diámetros.

FRACCIONES	LÍMITES DE LOS DIÁMETROS (mm)	
	SISTEMA USDA	SISTEMA INTERNACIONAL (Atterberg)
ARENA MUY GRUESA	2.0-1.0	
ARENA GRUESA	1.0-0.5	2.0-0.20
ARENA MEDIA	0.5-0.25	
ARENA FINA	0.25-0.10	0.20-0.02
ARENA MUY FINA	0.10-0.05	
LIMO	0.05-0.002	0.02-0.002
ARCILLA	< 0.002	< 0.002

Se debe tener en cuenta que rara vez una muestra de suelo estará constituida totalmente por una sola fracción. Por ello, las clases de textura están basadas sobre distintas combinaciones de arena, limo y arcilla. La textura del suelo y las posibles combinaciones de ellas se presentan gráficamente en el triángulo de las texturas.

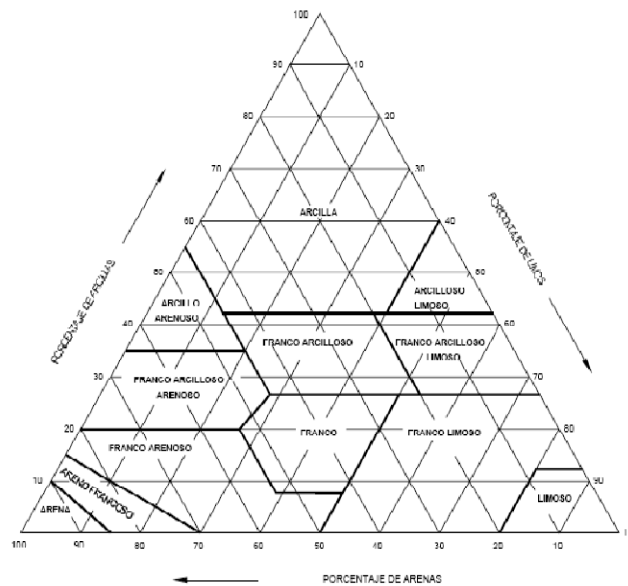


Figura 2. Triángulo de las Texturas.

En relación con la fertilidad y absorción de agua, podemos mencionar que en los suelos de textura fina donde predomina la arcilla se tiene una mayor capacidad de absorción de nutrientes, usualmente son más fértiles. En los suelos arenosos se tienen poros grandes y permiten una más rápida infiltración del agua. Sin embargo, los suelos arcillosos tienen una mayor capacidad de retención de agua debido a su mayor área superficial; tienen un volumen de vacío total, mayor que los suelos arenosos.

Resumiendo el triángulo de las texturas y lo que hemos mencionado en relación con el porcentaje de partículas y el tipo de suelos, se presenta el siguiente cuadro:

Tabla 3. Rangos de partículas de correspondientes a las distintas clases texturales.

CLASIFICACION TEXTURAL	% ARENAS	% LIMO	% ARCILLA	TIPO
ARENAS	85-100	0-18	0-10	LIGERO
ARENA MIGAJON	70-90	0-30	0-15	LIGERO
MIGAJON ARENOSO	52-82	0-18	0-20	LIGERO
MIGAJON ARCILLO ARENOSO	45-80	0-28	20-35	MEDIO
MIGAJON ARCILLO LIMOSO	0-20	20-72	28-40	MEDIO
FRANCO	24-52	28-50	8-28	MEDIO
MIGAJON LIMOSO	0-50	50-80	0-28	MEDIO
MIGAJON ARCILLOSO	20-45	15-52	28-40	MEDIO
LIMO	0-20	80-100	0-12	MEDIO
ARCILLA ARENOSA	45-65	0-20	35-55	PESADO
ARCILLA	0-45	0-40	40-100	PESADO
ARCILLA LIMOSA	0-20	40-60	40-60	PESADO

2.4.2 Estructura

Es el grado, forma o modo en que las partículas integrantes de un suelo, se asocian entre sí, formando en forma natural grupos unidos sin la intervención del hombre.

Los agregados naturales se denominan *peds* (granos) y varían su estabilidad en el agua; los *terrones* son masas coherentes de suelo, de cualquier forma, que se han quebrado por un medio artificial como la labranza.

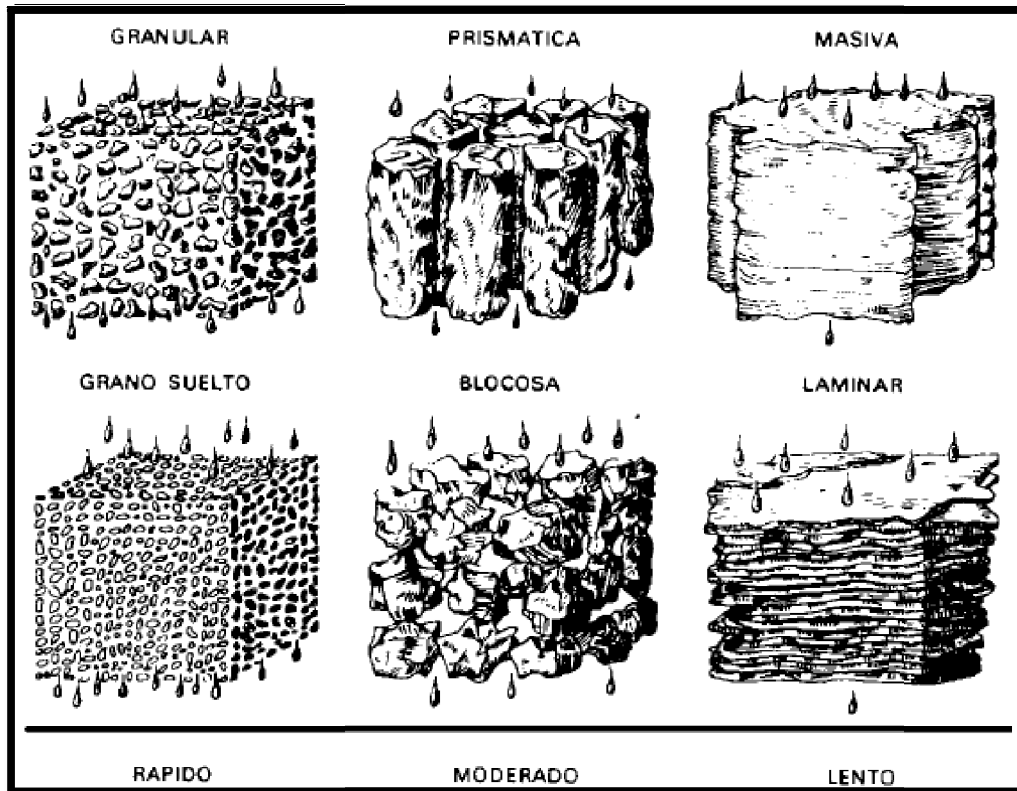
La estructura afecta la penetración del agua, el drenaje, la aireación y el desarrollo de las raíces, incidiendo así en la productividad del suelo y las facilidades de la labranza.

Tabla 4. Tipos de estructuras y sus características.

ESTRUCTURA	CARACTERÍSTICA
<p>a. Granular. Relativamente no porosos; agregados pequeños (tamaño menor de 2 cm de diámetro), esferoidales, no ajustados a los agregados adyacentes. Se localizan comúnmente en el horizonte "A".</p>	
<p>b. Migajosa. Relativamente porosos; agregados pequeños y esferoidales no ajustados a los agregados adyacentes. Se localizan comúnmente en el horizonte "A".</p>	
<p>c. Laminar. Agregados similares a placas; las dimensiones verticales de los agregados en posición natural son menores que sus dimensiones horizontales. Las placas a menudo se superponen e impiden la permeabilidad. Se encuentran generalmente en el horizonte "A2", en suelos de bosques y estratos arcillosos.</p>	
<p>d. Bloques angulares. Bloques limitados por otros agregados cuyas caras angulares bien definidas, forman el molde de estos. Los agregados a menudo se rompen en bloques más pequeños. Se localizan generalmente en el horizonte "B".</p>	
<p>e. Bloques subangulares. Gránulos similares a bloques limitados por otros agregados, cuyas caras angulares redondeadas forman el molde del gránulo. Se localiza generalmente en el horizonte "B".</p>	
<p>f. Prismática. Agregados similares a columnas con las partes superiores no redondeadas. Otros agregados forman el molde del ped. Algunos agregados prismáticos se rompen en ped de bloques más pequeños. Se localiza generalmente en el horizonte "B".</p>	
<p>g. Columnar. Se caracteriza porque las dimensiones verticales de los agregados en posición natural son mayores que sus dimensiones horizontales. Las columnas están separadas por grietas verticales y generalmente quebradas por grietas horizontales. Las cabezas de las columnas son redondeadas y se encuentran muy a menudo en el horizonte "B" en suelos alcalinos (sódicos).</p>	

De acuerdo con la estructura presente en un suelo se presentan características específicas en relación con otras propiedades físicas del suelo, entre las más importantes se encuentra la infiltración (propiedad muy importante en aspectos de riego). La siguiente figura describe la relación que tiene la estructura con la infiltración.

Figura 3. Efecto de la estructura sobre la infiltración.



2.4.3 Densidad aparente.

La densidad aparente de un suelo, se define como el cociente que resulta de dividir el peso de suelo seco entre el volumen total, incluyendo los poros. Usualmente se expresa en $\text{gr} \cdot \text{cm}^{-3}$. Para fines prácticos, conceptualmente esto es lo mismo que la gravedad específica, peso específico o peso volumétrico.

$$D_a = \frac{P_{s s}}{V_t}$$

Donde:

D_a = densidad aparente, $\text{gr} \cdot \text{cm}^{-3}$.

$P_{s s}$ = peso de suelo seco, gr.

V_t = volumen total, cm^3 .

Los valores de la densidad aparente varían en función de las propiedades de los suelos fundamentalmente con la textura y el contenido de materia orgánica. Sin embargo como valores medios se tienen los siguientes:

Arenas	1.4 - 1.6 gr/cm^3
Francos	1.3 - 1.4 gr/cm^3
Arcillas	1.1 - 1.3 gr/cm^3
Suelos orgánicos	0.7 - 1.1 gr/cm^3

2.4.4 Densidad real.

La densidad real de un suelo, es la relación que existe entre el peso de éste, en seco (Pss) y el volumen real o sea el volumen de sus partículas (Vp). Usualmente se expresa en gr*cm⁻³.

$$D r = \frac{P s s}{V p}$$

Donde:

Dr = densidad real (gr*cm⁻³)

Pss = peso del suelo seco (gr)

Vp = volumen de las partículas (cm³)

2.5 Relación agua – planta

2.5.1 Necesidades hídricas de los cultivos

Es la cantidad de agua que una planta necesita para llevar a cabo sus funciones adecuadas obteniéndose un desarrollo adecuado y tener rendimientos satisfactorios. Los factores importantes en las necesidades de agua de las plantas son la temperatura y humedad relativa.

2.5.2 Necesidades hídricas del pasto

Las necesidades de agua en los pastos, 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 a 1.5 litros por cada 15 gramos de aumento en el peso de las plantas. La escasez de agua muchas de las veces provoca la muerte de los pastos debido a que a pesar del suelo húmedo, las raíces no son capaces de tomar agua con la misma velocidad con que esta la pierde en la parte aérea debido a la evapotranspiración.

Al llevar a cabo la estimación de las necesidades hídricas de cualquier cultivo se constituye un dato básico para:

- 1) El diseño de un proyecto de riego.
- 2) Planificación de la estrategia de riego (cuando y cuanto regar).

Esto se hace con el fin de lograr rendimientos altos y estables, con la máxima calidad de producto cosechable, se requiere satisfacer la máxima evapotranspiración del cultivo. Para ello se deben de estudiar los procesos de evaporación, transpiración y evapotranspiración; así mismo se requiere caracterizar los tipos de suelos a regar.

2.5.3 Evapotranspiración.

En toda superficie cultivada se produce una pérdida continua de agua cuyo destino es la atmósfera.

Esa pérdida de agua tiene dos componentes:

- 1) La **evaporación** es la pérdida directa de agua desde la superficie del suelo o cultivo. La evaporación está en función de la radiación solar, latitud, estación del año, hora del día y nubosidad. También está en función de la temperatura del aire, presión de vapor, viento, presión atmosférica.
- 2) La **transpiración** es el paso del agua desde el suelo a las raíces – mediante potencial hídrico – conducidas mediante el fenómeno llamado capilaridad, algunas moléculas se quedan en los tejidos (adhesión) y otras llevando nutrientes a las partes de las plantas (cohesión), este último cumple con dicha función se libera por los poros de tallos y hojas de las plantas (pérdida de agua en forma de vapor). La transpiración está en función del viento, humedad relativa, temperatura y radiación solar.

Por lo tanto la evapotranspiración, es la cantidad de agua utilizada por las plantas para realizar funciones de transpiración más el agua que se evapora de la superficie del suelo en el cual se desarrollan.

Otra de las funciones que depende la evapotranspiración (llamados también factores que afectan la evapotranspiración) es:

- Factores climáticos (se explicó en evaporación y transpiración)
- Disponibilidad del agua en el suelo.
- Características del cultivo: tipo de cultivo, grado de cobertura y etapa fenológica del cultivo.
- Manejo del suelo y del riego.

2.5.4 Métodos para estimar evapotranspiración

Hay dos métodos para la determinación, directo e indirecto.

Métodos directos. Los más comunes son el gravimétrico y lisímetro.

Métodos indirectos.

Algunos investigadores han tratado de relacionar los datos climatológicos con el valor de la evapotranspiración logrando fórmulas que han permitido estimarla con diferentes aproximaciones; algunas son válidas para el lugar donde fueron estimadas pero otras son más o menos precisas aunque requieren de ajustes. Algunos de estos métodos son:

1. - Métodos basados en dispositivos evaporimétricos (se refiere a la Bandeja de Evaporación Clase A).
2. - Métodos basados en datos climáticos:
 - Métodos de radiación.
 - Métodos basados en la temperatura
 - Métodos por humedad relativa

2. Métodos basados en datos climáticos

Existen autores y datos climáticos que utilizaron predominantemente para estimar la evapotranspiración, aunque algunos de ellos utilizan varios datos climáticos. Se ha estimado que uno de los métodos más confiables es el de Penman, sin embargo tiene dificultades por el tipo de datos que requiere, además que tiene un cierto grado de complejidad para su instrumentación. En seguida se presenta una tabla de autores y sus principales datos utilizados.

Tabla 5. Datos climáticos para estimar la evapotranspiración.

Dato climático	Autores
A. Radiación	1.- Penman 2.- Makkink 2.- Jensen Haise
B. Temperatura	1.- Blaney y Criddle 2.- Thornthwaite 3.- Turc 4.- Hargreaves-Samani
C. Humedad relativa	1.- Hargreaves

A continuación se describirá algunos métodos más importantes y usados en el campo laboral

2.5.4.1 Método de Penman – Monteit

Es el método más confiable que existe, pero la obtención de su base de datos climáticos es muy limitada ya que las normales climatológicas no cuentan con todos los elementos de medición. Por lo que, se recomienda este método cuando se dispone de información sobre: temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar. El método también puede ajustarse a las características físicas de una estación meteorológica local.

2.5.4.2 Método de Harry F. Blaney y Wayne D. Criddle

En el diseño agronómico se considera el consumo de agua (la evapotranspiración) del cultivo a regar y los factores climáticos como la temperatura, precipitación y porcentaje de horas luz; dependiendo que método se aplicara para la evapotranspiración.

Se obtiene también la lámina de riego a aplicar y la frecuencia de riegos. Con ello se obtiene cuánta agua se usara para satisfacer la necesidad del cultivo durante el ciclo.

El método empleado en este caso es el método de Blaney – Criddle ya que es la que más se adapta de acuerdo con los datos de las estaciones meteorológicas. Donde se demuestra la ecuación:

$$E T = K * F$$

Donde:

ET = evapotranspiración real total del cultivo expresada como lamina (cm)

K=coeficiente total de ajuste que depende del cultivo y de la ubicación de la zona de estudio.

$$F = \sum_1^n f$$

$\sum_1^n f$ = Es la suma de los valores "f" de todos los meses (desde el mes 1 hasta el mes n del ciclo vegetativo del cultivo en cuestión).

Para calcular el valor de f se utiliza la siguiente ecuación:

$$f = \left[\frac{T + 17.8}{21.8} \right] * P * D u r \acute{o} n \text{ m e s}$$

Donde:

T= Es la temperatura promedio mensual (° C)

P= Es el porcentaje de horas luz en el día en relación con el total anual (%) (Tabla No. 1)

Duración mes= Es la división del número de días considerados en un mes para el ciclo vegetativo del cultivo, dividido entre el número total de días que tiene el mes (adim). Por ejemplo, si se siembra el 15 noviembre, el mes de noviembre tendrá 16 días considerados dentro del ciclo vegetativo, y como noviembre tiene 30 días.

$$\text{Duración mes} = 16/30 = 0.53$$

$$D u r \acute{o} n \text{ m e s} = \frac{\text{Número días consideradas}}{\text{Número días del mes}}$$

. Una modificación a la ecuación de Blaney - Criddle la realizó Phelan que introdujo al procedimiento el uso de un coeficiente por temperatura:

$$Kt = 0.031144 * T + 0.2396$$

Donde: T = temperatura media mensual en °C

Una vez determinado el valor de f y Kt se procede a calcular el valor de la evapotranspiración de referencia (ET_o), ya que, hasta este paso, únicamente se han considerado aspectos climáticos.

$$ET_o = f * Kt$$

Posteriormente se determinan los valores de los coeficientes de cultivo (K_c) (Tabla No. 2 y No. 3) para cada uno de los meses correspondientes al ciclo vegetativo y se calcula una primera estimación de la evapotranspiración potencial (ET_p')

$$ET_p' = ET_o * K_c$$

Para finalizar con el cálculo se determina un coeficiente de ajuste:

$$K' = \frac{E T p}{\sum_1^n f}$$

De la tabla No. 4 se obtiene el valor de un coeficiente global de cultivo (KG) y se calcula el valor final de la evapotranspiración, con la siguiente expresión:

$$E T p = E T p' \frac{K_G}{K'}$$

En resumen, para aplicar el método de Blanney – Criddle, se requiere de datos climáticos como temperatura media mensual y porcentajes de hora luz para cada mes (estos se obtienen de una tabla y están en función de la latitud de la zona de estudio). Se requiere además de los coeficientes de cultivo (Kc se obtienen de tablas), conocer la curva de desarrollo del cultivo. Se requiere finalmente un coeficiente global de cultivo (K_G se obtiene de una tabla).

Tabla 6. Porcentaje de horas luz en el día para cada mes del año.

Lat. N	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
15°	7.94	7.37	8.44	8.45	8.98	8.8	9.03	8.83	8.27	8.26	7.75	7.88
16°	7.93	7.35	8.44	8.46	9.01	8.83	9.07	8.85	8.27	8.24	7.72	7.83
17°	7.86	7.23	8.43	8.48	9.04	8.87	9.11	8.87	8.27	8.22	7.69	7.8
18°	7.83	7.3	8.42	8.5	9.09	8.92	9.16	8.9	8.27	8.21	7.66	7.74
19°	7.79	7.28	8.41	8.51	9.11	8.97	9.2	8.92	8.28	8.19	7.63	7.71
20°	7.74	7.26	8.41	8.53	9.14	9	9.23	8.95	8.29	8.17	7.59	7.66
21°	7.71	7.24	8.4	8.54	9.18	9.05	9.29	8.98	8.29	8.15	7.54	7.62
22°	7.66	7.21	8.4	8.56	9.2	9.09	9.33	9	8.3	8.13	7.5	7.55
23°	7.62	7.19	8.4	8.57	9.24	9.12	9.35	9.02	8.3	8.11	7.47	7.5
24°	7.58	7.17	8.4	8.6	9.3	9.2	9.41	9.05	8.31	8.09	7.43	7.46
25°	7.53	7.13	8.3	8.61	9.32	9.22	9.43	9.08	8.3	8.08	7.4	7.41
26°	7.49	7.12	8.4	8.64	9.38	9.3	9.49	9.1	8.31	8.06	7.36	7.35
27°	7.43	7.09	8.38	8.65	9.4	9.32	9.52	9.13	8.32	8.03	7.36	7.31
28°	7.4	7.07	8.3	9.68	9.46	9.38	9.58	9.16	8.32	8.02	7.22	7.27
29°	7.35	7.04	8.37	8.7	9.49	9.43	9.61	9.19	8.32	8	7.24	7.2
30°	7.3	7.03	8.38	8.27	9.53	9.49	9.67	9.22	8.34	7.99	7.19	7.14
31°	7.25	7	8.36	8.73	9.57	9.54	9.72	9.24	8.33	7.95	7.15	7.09
32°	7.2	6.97	8.37	8.75	9.63	9.6	9.77	9.38	8.34	7.95	7.11	7.05

Tabla 7. Coeficientes globales de usos consuntivos (K_G) para diferentes cultivos (López, Necesidades hídricas de los cultivos)

Cultivo	Periodo de crecimiento vegetativo	Coeficientes Globales K_G	
		Región húmeda	Región árida
Frutales de hueso y pepita (hoja caduca)	Entre heladas	0.6	0.7
Garbanzo	4 a 5 meses	0.6	0.7
Girasol	4 meses	0.5	0.65
Gladiola	3 a 4 meses	0.6	
Haba	4 a 5 meses	0.6	0.7
Hortalizas	2 a 4 meses	0.6	
Jitomate	4 meses	0.7	
Lechuga y col	4 meses	0.7	
Lenteja	4 meses	0.6	0.7
Lino	7 a 8 meses	0.7	0.8
Maíz	4 a 7 meses	0.75	0.85
Mango	Todo el año	0.75	0.8
Melón	3 a 4 meses	0.6	
Nogal	Entre heladas	0.7	
Papa	3 a 5 meses	0.65	0.75
Palma Datilera	Todo el año	0.65	0.8
Palma de coco	Todo el año	0.8	0.9
Papaya	Todo el año	0.6	0.8
Plátano	Todo el año	0.8	1
Pasto de gramíneas	Todo el año	0.75	
Pastos de trébol			
Ladino	Todo el año	0.8	0.85
Remolacha	6 meses	0.65	0.75
Sandia	3 a 4 meses	0.6	
Sorgo	3 a 5 meses	0.7	
Soya	3 a 5 meses	0.6	0.7
Tabaco	4 a 5 meses	0.7	0.8
Tomate	4 a 5 meses	0.7	
Zanahoria	2 a 4 meses	0.6	

2.6 Uso de aguas tratadas aplicadas en la irrigación

El agua es vital para todo ser vivo, tomándose de diferentes proporciones. El agua es un compuesto teniéndolo como factor indispensable para la vida y determinante para el desarrollo de la sociedad.

Las diferentes actividades humanas precisan agua en cantidad creciente con unos requerimientos de calidad cada vez más restrictivos. Satisfacer estas necesidades resulta difícil, debido al desequilibrio entre la demanda y los recursos.

En esta situación, el agua residual urbana se ha convertido en un recurso hídrico con posibilidades de empleo en numerosos campos. Su recuperación debe considerarse como una etapa más dentro del ciclo de uso del agua que permita disponer de un nuevo recurso hídrico y conservar otros de mayor calidad para usos más exigentes. Sin embargo, en este nuevo escenario, debe prestarse especial atención a su calidad fisicoquímica y microbiológica para evitar en todo momento daños a la salud pública y al medio.

Así nace la idea de que siempre que sea posible el agua no debe ser utilizada sólo una vez, sino que debe ser reutilizada de forma planificada para poder satisfacer la demanda global. La reutilización planificada está cobrando cada vez más importancia en las zonas áridas y semiáridas, con una pluviometría irregular y una demanda creciente de agua.

2.6.1 Tratamiento de aguas residuales urbanas en México

En México, existe una disponibilidad natural media de agua de 474 mil 637 hm³ al año, pero el desperdicio y fugas, la falta de pago por el servicio, la contaminación del recurso en los acuíferos, su inadecuada utilización y deficiente administración, además de la presión poblacional, han dado lugar a que la nación se encuentre entre los países con una disponibilidad de agua promedio baja, ubicándose en el lugar 81 a nivel mundial según la ONU (Organización de las Naciones Unidas).

De acuerdo con la información proporcionada al INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Información) por los organismos operadores que prestan el servicio de agua potable, alcantarillado y saneamiento en el año 2004, en el país existían 1481 plantas de tratamiento para aguas residuales municipales, con una capacidad instalada de 92 mil 675 l/seg.; de estas, 1300 se encontraban en operación, registrando un gasto tratado de 64 mil 542 l/seg. Lo que nos habla de que en conjunto el tratamiento de aguas residuales municipales en México presenta una eficiencia de tan solo el 70% de la capacidad instalada. La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) informó recientemente que de los 242 m³/s de aguas residuales generadas en el país, actualmente se trata el equivalente a 79 m³/s, lo que representa 38% del volumen total de aguas residuales municipales generadas en el país. Poco menos de la mitad recibió tratamiento por medio de lodos activados y cerca de una quinta parte a través de lagunas de estabilización. (Universidad Politécnica de Morelos).

2.6.2 Características y tratamientos de agua residuales

El agua residual es aquella que ya ha sido utilizada por primera vez ya sea en uso doméstico, industrial o escorrentía. En la mayoría de los casos en el transporte es la mezcla entre las tres anteriores. Su composición puede variar enormemente en el lugar y el tiempo.

Entre la gran variedad de sustancias que se incorporan a un agua durante su utilización urbana, industrial o agrícola, cabe mencionar las sales disueltas, los elementos nutritivos, los microorganismos patógenos, las sustancias inorgánicas tóxicas y bioacumulables y el microcontaminantes orgánicos como elementos más contaminantes.

El agua residual tratada debe tener unas características sanitarias que permitan prevenir la degradación ambiental y a la vez proteger la salud pública, especialmente si existe la intención de reutilizar, tanto si este aprovechamiento comporta un contacto directo o indirecto con las personas. El agua es un vínculo de transmisión de una gran variedad de microorganismos patógenos, parásitos y virus. El principal peligro de la contaminación biológica está en el vertido de aguas residuales en general y de los excrementos en particular. A este hecho debe añadirse la posible presencia de compuestos tóxicos que, conjuntamente con los contaminantes biológicos, pueden poner en peligro la salud de las personas cuando éstas se exponen a las aguas residuales no tratadas, ya sea por contacto, inhalación o ingestión. Para preservar la salud pública es necesario aplicar tratamientos encaminados a eliminar o disminuir estos riesgos.

Desde la aparición en 1914 del sistema de fangos activos desarrollado por Arden y Lockett, los tratamientos aplicados en la depuración de aguas residuales urbanas emplean dicha tecnología como tratamiento secundario. A lo largo de los años esta tecnología ha sufrido numerosas modificaciones, buscando mejorar la eficacia en cuanto a la eliminación de materia orgánica y nutriente (fósforo y nitrógeno), reducir el espacio requerido por la instalación o los costes económicos derivados del proceso, sin quedar resueltos los aspectos sanitarios.

Son varias las aplicaciones que se puede dar al agua residual depurada, tales como la reutilización agrícola y forestal, usos industriales, servicios públicos (incendios, lavado de calles y automóviles), usos ornamentales y recreativos, mejora y preservación del medio natural y recarga de acuíferos, cada uno de los cuales exige una calidad determinada para que la reutilización sea segura.

Para llevar a cabo lo anterior se procede con los diferentes pasos de tratamientos hasta obtener una calidad e agua satisfactoria para cada uno de los objetivos de los reusos del agua.

2.6.3 Etapas de tratamientos de aguas residuales

El objetivo principal de un proceso de depuración de aguas es reducir la carga de contaminantes de la misma y de manera especial la de origen orgánico. De este modo, conseguimos que esa agua pueda verterse a un medio receptor natural sin que se produzcan daños ambientales

en él. Los porcentajes de eliminación actuales para una planta depuradora convencional se sitúan entre el 90% y el 95%, expresado en términos de demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), de materia en suspensión (MES) y de turbiedad (TUR).

Los procesos de depuración se estructuran en diferentes niveles en función de tipo de equipos utilizados y sus rendimientos:

1.- *Pre tratamiento*. El pre tratamiento implica las operaciones que se realizan de forma previa al inicio del tratamiento propiamente dicho. Está formado habitualmente por redes de y/o tamizado que consiguen separar los elementos de gran tamaño que entorpecerían el correcto funcionamiento del resto de etapas y tanto a las partes móviles de los distintos equipos de la EDAR.

2.- *Tratamiento primario*. La misión de éste consiste en eliminar los sólidos en suspensión presentes en el agua que sale del pre tratamiento; para llevarlo a cabo, se usan unos depósitos de precipitación llamados decantadores primarios.

3.- *Tratamiento secundario*. El tratamiento secundario consiste en la eliminación de la materia orgánica biodegradable soluble y coloidal y es llevado a cabo por un proceso biológico aerobio en tanques de aireación y gracias a la presencia de microorganismos aerobios en el agua. Estos microorganismos se alimentan de la materia orgánica biodegradable de manera que se reduce su contenido en el agua, si bien no se llega a eliminarlos por completo, de ahí que esta etapa también se conozca como tratamiento biológico.

Hay que tener en cuenta que los microorganismos no pueden actuar sobre la materia orgánica no biodegradable, que requerirá de otros procesos para su eliminación. De entre los distintos tratamientos secundarios existentes, los procesos de fangos activados acostumbran a ser los más eficaces.

Durante estos tratamientos hay una reducción de los microorganismos en el efluente tratado (ver Tabla 8), pero no la adecuada para su reutilización. Todo ello ha dado lugar al desarrollo de nuevas tecnologías que hoy día se aplican como tratamiento adicional denominado genéricamente terciario.

Tabla 8. Porcentajes de eliminación de microorganismos en el tratamiento convencional de aguas residuales

Microorganismos	Tratamiento primario	Fangos activos	Biofiltro
Coliformes fecales	<10	0-99	85-99
Salmonella	0-15	70-99+	85-99+
Mycobacterium tuberculosis	40-60	5-90	65-99
Shigella	15	80-90	85-99
Entamoeba histolytica	0-50	Limitado	Limitado
Huevos de Helminto	50-98	Limitado	60-75
Virus entéricos	Limitado	75-99	0-85

4.- *Tratamiento terciario*. El tratamiento terciario es un proceso de depuración complementario al secundario y que permite rebajar algunos de los componentes del agua residual que no es posible reducir en el tratamiento secundario. Un tratamiento terciario completo está formado por una coagulación-floculación, una decantación, una filtración y una desinfección. Puede llegar a eliminar una fracción elevada de los virus y las bacterias presentes en el afluente. Además, este proceso de tratamiento reduce la turbiedad del agua residual hasta niveles muy bajos, lo que asegura la eficacia del proceso de desinfección que se efectúa después de la filtración. También existe otro tratamiento terciario diferente al tradicional que son los humedales, aunque los criterios de calidad del afluente y del efluente no deben compararse, puesto que su sistema de funcionamiento “más natural” es totalmente diferente.

En el siguiente diagrama se observa cómo van estructuradas cada una de las partes de una planta de tratamiento de aguas residuales

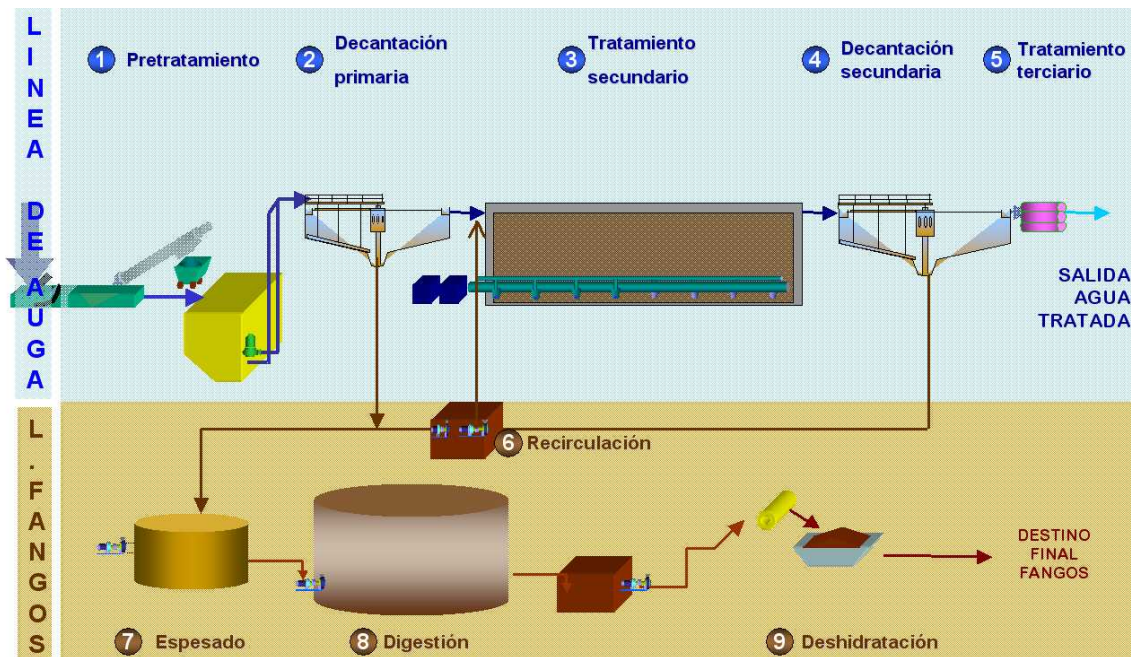


Figura 4. Partes de una planta de tratamiento de agua.

La desinfección es el proceso más importante desde el punto de vista de la inactivación de organismos patógenos. Los sistemas de desinfección más comunes en los procesos de tratamiento de aguas residuales son: 1) la adición de productos químicos (cloro, ozono y peróxido de hidrógeno), 2) la instalación de lagunas de afino, 3) el uso de luz UV y 4) los sistemas de filtración en medio granular o membrana. La Tabla 9 resume los rendimientos alcanzables en la reducción de las bacterias coliformes mediante algunos procesos convencionales de tratamiento del agua.

Tabla 9. Depuración para la eliminación de bacterias coliformes (Hernández, 1996)

Procesos de depuración	Reducción Coliformes, %
Cloración de agua bruta	90-95
Sedimentación	25-55
Precipitación química	40-60
Lecho bacteriano de alta carga precedido y seguido de sedimentos	80
Lecho bacteriano de baja carga precedido y seguido de sedimentos	90
Fangos activos de alta carga, precedidos y seguidos de sedimentos	80
Filtro percolador	50-90
Método convencional de fangos activos, precedidos y seguidos de sedimentación	90
Cloración del agua tratada biológicamente	98-99

De acuerdo a la norma oficial mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997 los rangos permitidos se expresan en la Tabla 10. Esta norma está dedicada únicamente al establecimiento de los límites

máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público.

Tabla 10. Límites máximos permisibles de contaminantes.

Tipo de reuso	Promedio mensual				
	Coliformes Fecales NMP/100 ml	Huevos de Helminto (h/l)	Grasas y Aceites mg/l	DBO ₅ mg/l	SST mg/l
Servicio al público con contacto directo	240	≤ 1	15	20	20
Servicio al público con contacto indirecto u ocasional.	1,000	≤ 5	15	30	30

De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996. Se describen los siguientes requerimientos para el uso del agua tratada.

Riego no restringido.

La utilización del agua residual destinada a la actividad de siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas en forma ilimitada como forrajes, granos, frutas, legumbres y verduras.

Riego restringido.

La utilización del agua residual destinada a la actividad de siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas, excepto legumbres y verduras que se consumen crudas.

Uso en riego agrícola.

La utilización del agua destinada a la actividad de siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas y su preparación para la primera enajenación, siempre que los productos no hayan sido objeto de transformación de industrial.

En la Tabla 11 se expresa los límites máximos permisibles para llevar a cabo el uso de agua en la agricultura.

Tabla 11. Límites máximos permisibles para contaminantes básicos

PARÁMETROS (mg/L, excepto cuando se especifique las unidades)	USO EN RIEGO AGRICOLA					
	Ríos		Embalses naturales y artificiales		Suelo	
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Temperatura a °C	N.A.	N.A.	40	40	N.A.	N.A.
Grasas y aceites	15	25	15	25	15	25
Materia flotante	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente
Sólidos sedimentables (ml/L)	1	2	1	2	N.A.	N.A.
Sólidos suspendidos totales	150	200	75	125	N.A.	N.A.
Demanda bioquímica de oxígeno 5	150	200	75	150	N.A.	N.A.
Nitrógeno total	40	60	40	60	N.A.	N.A.
Fosforo Total	20	30	20	30	N.A.	N.A.

P.M.= promedio mensual; P.D.= promedio diario; N.A.= no aplicable.

En la Tabla 12 se encuentran los parámetros que regirán el uso del agua de acuerdo a los elementos que contenga dicha agua.

Tabla 12. Límites máximos permisibles para metales pesados y cianuros

PARAMETROS (mg/L)	USO EN RIEGO AGRICOLA					
	Ríos		Embalses naturales y artificiales		Suelo	
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Arsénico	0.2	0.4	0.2	0.4	0.2	0.4
Cadmio	0.2	0.4	0.2	0.4	0.05	0.1
Cianuros	1	3	2	3	2	3
Cobre	4	6	4	6	4	6
Cromo	1	1.5	1	1.5	0.5	1
Mercurio	0.01	0.02	0.01	0.02	0.005	0.01
Níquel	2	4	2	4	2	4
Plomo	0.5	1	0.5	1	5	10
Zinc	10	20	10	20	10	20

P.M.= promedio mensual; P.D.= promedio diario; N.A.= no aplicable.

Estos son las normas que da la Norma Oficial Mexicana para ser usada en riego agrícola.

2.6.4 El agua regenerada

El proceso de tratamiento necesario para que un agua pueda ser reutilizada se denomina regeneración y el resultado de dicho proceso de agua regenerada. De acuerdo con su significado

etimológico, la regeneración de un agua consiste en devolverle, parcial o totalmente, el nivel de calidad que tenía antes de ser utilizada, de igual manera que la regeneración de suelos, etc.

El aprovechamiento de un agua regenerada requiere los siguientes elementos:

1. El transporte desde la planta de regeneración hasta el lugar de utilización.
2. El almacenamiento o regularización para adecuar el caudal suministrado por la planta a los caudales consumidos.
3. La definición de unas normas de utilización del agua que permitan minimizar los posibles riesgos directos o indirectos para el medio ambiente, la personas que la utilizan, la población circundante al lugar de uso y los consumidores de cualquier producto cultivado con el agua regenerada.

Estos tres elementos técnicos constituye el núcleo central de un programa de reutilización planificada de agua residual.

Los investigadores de la U. de Washington también han encontrado que las aguas tratadas estimulan el crecimiento en una forma mucho mejor que el agua de los ríos. La biomasa de los rodales de pasto fue de 40 y 8 mg/ha.

Se debe recordar a la sociedad que el 1% de agua que se encuentra disponible, una parte de ella (0.5%) se encuentra a grandes profundidades y el otro 0.5% se encuentra en ríos, etc. De todo esa agua que es aprovechable solamente -hasta la actualidad- se reusa el 0.3%.

2.7 Sistema de riego por aspersión

El riego surge por la necesidad de sobrevivir al medio en que se desenvuelve una determinada población, es por ello que se implementaron hace siglos una mejor forma de cultivar y regar.

El agua que requieren los cultivos es aportada en forma natural por las precipitaciones, pero cuando ésta es escasa o su distribución no coincide con los períodos de máxima demanda de las plantas, es necesario aportarla artificialmente, es decir a través del riego.

2.7.1 Antecedentes históricos

En los principios de la historia se conocía el regadío. Este fue un factor decisivo en el auge de las civilizaciones, pues el desarrollo de las mismas estuvo íntimamente ligado al de la agricultura. El regadío supuso una producción mayor y constante a lo largo de los años, lo que aseguraba el sustento de la población y facilitaba el crecimiento económico.

Todo ello sucedió en Mesopotamia, zona aluvial entre los ríos Tigris y Éufrates. Al igual que en Egipto donde se produjo un importante desarrollo técnico en el valle del Nilo, con la construcción de un complejo sistema de presas, dominando las violentas subidas del río, se obtuvo el mayor provecho del mismo. También en otras zonas diseminadas por toda la geografía del globo como la antigua China de la dinastía Chin o la rica zona agrícola donde se desarrollo la que se convertiría en la ciudad más poblada de su época, la Tenochtitlán azteca.

Por todo lo anterior, el riego se considera como una ciencia milenaria.

En México, un ejemplo clásico de sistemas de riego antiguos son las chinampas, sistemas de producción agrícolas sobre los lagos, utilizados por los aztecas antes de la época de la conquista con la finalidad de producir los cultivos básicos de su alimentación en forma segura; el sistema en sí combina el conocimiento del riego subterráneo con la hidroponía (cultivo de plantas sin suelo).

Después de los 80's, en todo el mundo fue desarrollándose el riego como una ciencia evolutiva de tal manera que las técnicas año con año, son cada vez mejores porque conjunta ahorro de agua, ahorro de energía y al ser extensivas abaratan los costos, con un aumento en la producción importante. En ésta época se introducen técnicas de fertilización y aplicación de químicos a través del riego, lo que se ha denominado fertirrigación. Esta práctica ha desencadenado una alta productividad en los cultivos y ha hecho más eficiente el uso de los recursos.

2.7.2 Situación del riego en México

- México es un país de gran tradición en el riego con obras hidrológicas la cual se remota a la Época Prehispánica.
- Después de la Revolución Mexicana inicia la construcción de grandes obras de riego. Se forma la Comisión Nacional de Irrigación (1926).
- En 1946 nace la Secretaría de Recursos Hidráulicos y con ella los Distritos de Riego (otras referencias dicen que en 1930).
- En 1976 las Secretarías de Agricultura y Ganadería y la de Recursos Hidráulicos se fusionan en la SARH. La Subsecretaría de Infraestructura Hidráulica continuó con la construcción de los Distritos de Riego.
- En 1989 se creó la Comisión Nacional del Agua (CNA) como autoridad ejecutiva del agua.
- En todo este tiempo se tomó más importancia en la red de distribución mayor que a las redes interparcelarias y muy poco en el desarrollo parcelario.
- En 1989 la CNA inicio un Programa de Modernización y Transferencia de los Distritos de Riego a los usuarios. Hasta 1994 se habían entregado 294,000 ha a 397 Asociaciones de Usuarios (425 mil usuarios). Ahora ellos se encargan de recaudar cuotas, dar mantenimiento y operación a los distritos, 59 distritos están totalmente transferidos, 13 parcialmente y 9 sin transferir.
- En 1992 nace el Programa de Desarrollo Parcelario (PRODEP) encargado de las redes menores de riego.
- En México los métodos de riegos más utilizados para aplicar el agua a las parcelas son los de gravedad y los presurizados.
- El riego parcelario presurizado ocupa el 10% de la superficie bajo riego en el país, el 90% restante se riega por gravedad.
- La superficie bajo riego es de 6'256,032 ha; riegos presurizados (610,000 ha) y riego por gravedad (5'490,000 ha). Que en su mayor parte ha sido construida por el Gobierno Federal y la demás con participación o por cuenta de los propios beneficiarios.
- Los riegos más comunes en riego por gravedad son: surcos y melgas.
- Los riegos más comunes en riego presurizados son: aspersión, goteo y micro aspersión.

- Actualmente 20 millones de ha en promedio se cosechan en el país.
- De esta 6.1 millones lo hace bajo riego con una producción aproximada del 56% del valor de la cosecha total nacional, lo que significa que en las áreas regadas, la productividad promedio es de 3 veces la obtenida en las áreas de temporal.
- 3.3 millones de ha están comprendidas dentro de los 81 Distritos con 500 mil usuarios.
- El resto 2.8 millones de ha se encuentra repartida en aproximadamente 27 mil pequeños aprovechamientos que constituyen las Unidades de Riego.
- La eficiencia de conducción en promedio nacional es de 62% (según CNA), aunque hay quienes reportan una eficiencia entre 45-60%.
- La eficiencia de aplicación es del 60% aproximadamente.

2.7.3 Historia de sistemas de riego por aspersión

- El riego por aspersión se inicio alrededor de los años 20's en el estado de California, EU.; con aspersores muy rústicos conectados en tuberías movidas a mano de una posición a otra.
- En 1920, primeros aspersores fabricados en serie por Rain Bird. Los rusos construyen el robot Rain.
- De los años 1930 a 1940, aparecen los sistemas de Side Roll, se incorporan mecanismos de remolque.
- En 1954, es inventado el pivote central por Frank Zybach.
- 1970.- Aparece el cañón viajero en Europa (inventada por Henry Palma, Francia). En esta década fue transferido el sistema de riego por goteo comercialmente.
- 1980.- Se desarrollan mejores aspersores, surgen mas compañías de riego y, la automatización se incorpora en la operación.
- 1990-2000.- La era de la informática. El control a distancia, la fertirrigación y la automatización de equipos son inducidos en los sistemas más avanzados.

(Apuntes de clase, sistemas de riego por aspersión, Ing. Gregorio Briones Sánchez)

2.7.4 Aspersión

El riego por aspersión es un método de riego a presión que consiste en la distribución del agua de riego a través del aire en forma de gotas buscando una distribución uniforme. Para llevar a cabo aquello, se utilizan distintos aparatos y técnicas.

Un sistema de riego por aspersión es una red de tubos con aspersores acoplados a ellos, arreglados para que se pueda distribuir la precipitación del agua de riego lo más uniforme posible. (Sistemas de Riego por Aspersión y Goteo).

Los dispositivos de aspersión tienen por misión pulverizar el chorro de agua en gotas finas y repartirlas uniformemente por el terreno. Los sistemas de riego conducen el agua desde la tubería a

cada uno de los aspersores, teniendo la pendiente del terreno a favor o en contra, el agua siempre debe de llegar a cierta presión a las boquillas para poder tener el área de mojado deseado, por ello se le denomina sistema de riego a presión alta. (Técnicas de riego).

Con este método de riego no es necesario nivelar el suelo y no hay problemas de erosión si se usa la presión y el aspersor adecuado.

Los aspersores son los elementos que contribuyen el agua en los cultivos en forma de gotas de lluvia. Son aparatos de una o varias boquillas, que normalmente giran alrededor de un eje impulsados por su propia fuerza que transmite la presión del agua al salir.

De acuerdo con Fco. Javier Martínez, a la hora de realizar el proyecto de una instalación de riego por aspersión se ha de considerar, en función del caudal y el alcance para la presión de funcionamiento del modelo de aspersor, los siguientes:

- El *tamaño de las gotas*. Depende del tipo de aspersor, de la presión de trabajo y del tamaño de la boquilla. Las gotas muy grandes pueden no tener un alcance adecuado, también pueden provocar daños en los cultivos, erosión; mientras que la excesiva pulverización de las gotas puede provocar un excesivo arrastre de las mismas por el viento y evaporación.
- El *viento*, produce falta de uniformidad. Para disminuir el efecto de vientos fuertes predominantes se pueden utilizar boquillas con ángulos tendidos, lo cual implica un chorro menos expuesto.
- *Desviación de la presión de trabajo del aspersor*. se debe a un mal dimensionamiento o a una desigual topografía. La consecuencia inmediata que esto supone es un inadecuado reparto del agua.
- *solapamiento entre aspersores*. Se deben disponer los aspersores lo suficientemente próximos entre sí, para que se produzcan solapes adecuados que den una buena uniformidad de conjunto.

La distribución de agua aplicada sobre la superficie por un aspersor no es uniforme, va variando dentro del círculo mojado por el aspersor a lo largo del alcance del mismo.

La forma de distribuir el agua al salir del aspersor depende de:

- el *tipo de aspersor* y el diseño del mismo.
- La *presión real* a la que trabaja el aspersor. lo ideal es trabajar a las presiones recomendadas por el fabricante, llamada *presión de operación*.
- El *viento*.
- La *textura del suelo* determina la velocidad de infiltración en el perfil del suelo.

2.7.5 Características y tipos de aspersores

Los aspersores se pueden clasificar en función de sus características, estas características son las que determinan la elección del modelo del aspersor. Las características más importantes a considerar en un aspersor son:

- Presión de trabajo. Según la presión de funcionamiento los aspersores se clasifican en:
 - *Aspersores de baja presión* (inferior a 2 atm o sea $2 \text{ kg}\cdot\text{cm}^{-2}$). Dan caudales inferiores a los 1000 lph y requieren espaciamentos inferiores a los 15m. es usada en jardinería, en hortalizas, en riego de frutales por debajo de las copas de los árboles y en el riego antihelada.
 - *Aspersores de media presión*. Para presiones comprendidas entre 2 y 4 atm (2 a $4 \text{ kg}\cdot\text{cm}^{-2}$) arrojan caudales entre los 1000 y 6000 lph, y se utilizan espaciamentos comprendidos entre 12 y 25 m. riego uniforme y se utilizan en una gran variedad de suelos y cultivos extensivos.
 - *Aspersores de alta presión*. Funcionan con presiones superiores a las 4 atm ($4 \text{ kg}\cdot\text{cm}^{-2}$), dan caudales superiores a los 6000 lph, pueden llegar a regar radios de hasta 60 m. a esta categoría pertenecen algunas maquinas de aspersión como los cañones de riego.
- Velocidad de giro. De acuerdo a la velocidad de giro los aspersores se clasifican en *rápidos y lentos*
- Mecanismo de giro. Desde el punto de vista de su funcionamiento hay varios tipos de aspersores: de boquilla sin movimiento, de rotación (molinete hidráulico), de turbina con engranaje, de impacto o brazo oscilante.
- Posición del aspersor sobre el terreno:
 - Aspersores aéreos. Se disponen sobre el terreno, instalados en una caña porta aspersores o sobre patines.
 - Aspersores emergentes. Se colocan enterrados. Cuando la instalación de riego se pone en marcha emergen debido a la presión de agua, levantando la tapa que los oculta. La finalidad estética de este mecanismo tiene sentido solamente en jardinería, donde son muy habituales.
- Geometría del área mojada. Según que la forma del área mojada complete o no el círculo, se divide en:
 - Aspersores sectoriales. Distribuyen el agua en un sector circular, en solo un ángulo del círculo describiría su radio. Son útiles en jardinería para regar los lados o esquinas de un césped sin mojar el camino que lo limita.
 - Aspersor circular, son los que riegan un superficie circular.
- Radio mojado o alcance del aspersor.
- Diámetro de la boquilla.
- Angulo de ataque de la boquilla.
- Curva característica, viene dado por el caudal y el intervalo de presiones efectivas de trabajo.

A continuación se explican los aspersores de acuerdo con el mecanismo de giro.

Hay una gran variedad de aspersores de los cuales las fundamentales son las que se explican a continuación y las demás solo son derivadas de las originales.

2.7.5.1 Aspersores no giratorios

Existen en el mercado varios modelos de aspersores no giratorios. Tiene orificio calibrado por donde sale el chorro, que se dispersa al chocar contra un deflector colocado de forma perpendicular u oblicua con respecto al eje del aspersor. Estos aspersores se utilizan a baja presión, con un radio de alcance pequeño (0.5 a 5 m), y su campo de aplicación se limita a invernaderos y jardinería.

2.7.5.2 Aspersores giratorios

Son los más utilizados en agricultura, están constituidas por una o más toberas provistas de boquillas calibradas. El aspersor gira sobre su propio eje, lo que permite regar la superficie de un círculo cuyo radio corresponde al alcance del chorro.

Los aspersores se clasifican de la siguiente manera de acuerdo al mecanismo que produce el movimiento giratorio:

- ❖ *Aspersores de brazo oscilante.* El movimiento rotativo de cuerpo del aspersor es discontinuo, debido a impulsiones periódicas provocadas por el chorro de agua que golpea intermitentemente un brazo oscilante, el cual vuelve a su posición inicial por la acción de un resorte. Son aspersores de giro lento.

Son los más utilizados, existiendo una gama de modelos en el mercado.

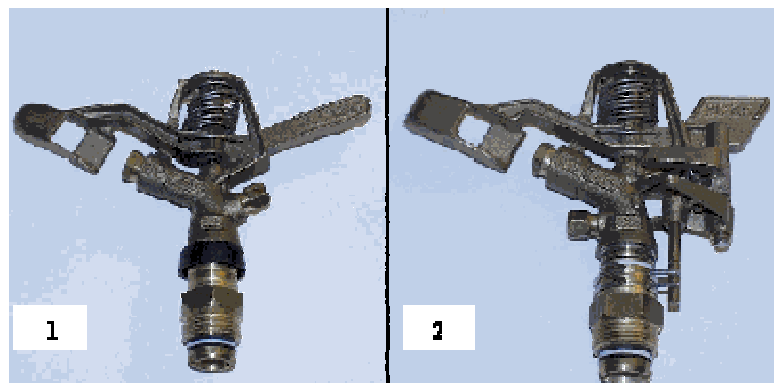


Figura 5. Aspersores giratorios con brazo oscilante.

- ❖ *Aspersores de reacción.* Están basados en el molinete hidráulico, en donde la reacción a la salida del agua provoca el movimiento de giro del aspersor. la boquilla o boquillas están orientadas de forma que la reacción al cambio de dirección en el movimiento del agua provoque el movimiento de rotación. Son aspersores de giro rápido, se utilizan en jardinería y en riego de arboles bajo las copas.

- ❖ *Aspersores de turbina*. En estos aspersores el chorro se incide sobre una turbina (rueda con aspas), cuyo movimiento se transmite a un eje instalado a lo largo del tubo del aspersor, y de este, mediante engranajes, a la base del aspersor, para producir un giro del aspersor lento y uniforme.

2.7.6 Tipos de sistemas de riego por aspersión

Los sistemas de riego por aspersión se suelen dividir en dos grupos fundamentales y claramente diferenciados: los sistemas convencionales o estacionarios, y los sistemas mecanizados o maquinas de riego.

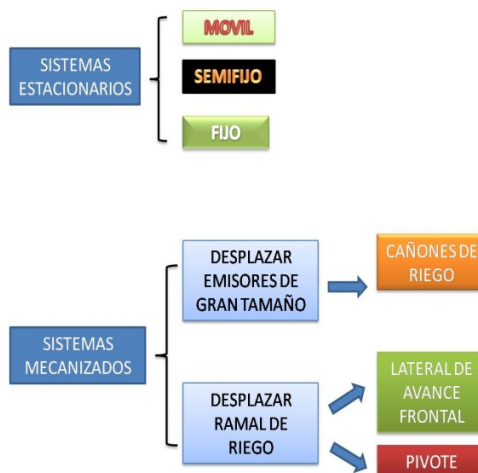


Figura 6. Tipos de sistemas de riego por aspersión

2.7.6.1 Sistemas convencionales o estacionarios

Dentro de este grupo se encuentran los sistemas compuestos por un sistema de *aspersores* y laterales, conectados estos últimos a otra tubería (terciaria) que suministra el agua a partir de la red general. Los *laterales*, son las tuberías de menor calibre, fijas o no, enterradas o a la intemperie, sobre la que van conectadas los aspersores de forma directa o indirecta, es decir, montado sobre tubos porta aspersor, lo cual es más frecuente.

Esta a su vez se subdivide en:

- *Sistemas móviles*. En estos sistemas los laterales sobre los que van los aspersores son móviles (incluso puede serlo el grupo de bombeo), trasladándose en la posición que ocupan en la terciaria a lo largo del riego de la parcela. También se pueden trasladar a su vez uno o varios aspersores sobre el lateral. Cuando acaba el riego de una postura, los ramales con los aspersores se trasladan a la siguiente posición, requiriendo por ello una gran cantidad de mano de obra para el riego. Estos equipos suelen ser instalados para aplicar riego eventuales o como soluciones de emergencia. Se compone de un grupo motobomba móvil (puede ser accionado

desde la toma de fuerza del tractor) que envía el agua a una tubería en la que están colocados los aspersores. A veces, se acoplan a la tubería unas mangueras al final de las cuales se encuentran los aspersores sobre patines. De esta forma, los aspersores pueden ocupar diversas posiciones de riego antes de que sea necesario mover la tubería. Este sistema suele utilizarse en parcelas pequeñas o para aplicar riegos complementarios.

- *Sistemas semimóviles o semifijos.* En ellos parte de los elementos del sistema son móviles. Estos sistemas pretenden beneficiarse del bajo costo de los sistemas móviles, pero buscando unas menores necesidades de mano de obra. En este sistema son fijos el grupo de bombeo y la red de tuberías principales, que normalmente se encuentra enterrada. Esta tubería principal suele ser de PVC o fibrocemento. De ella derivan los hidrantes en donde se conectan los ramales de distribución (fijos o móviles), a los que se conectan los ramales de riego, que son móviles. Estos ramales móviles deben ser fácilmente transportables por lo que suelen ser de materiales ligeros y que soporten bien el estar a la intemperie (aluminio, polietileno, etc.).

Hay dos tipos de instalaciones semifijas:

- Laterales fijos con aspersores móviles que se pueden quitar y poner a lo largo de ellos, mediante pequeñas válvulas de cierre automático situado en la conexión.
- Instalaciones con manguera. En ellas los aspersores no se instalan sobre el lateral de riego, sino que en el lateral van conectadas mangueras en cuyos extremos se coloca un aspersor, arrastrado sobre un patín que hace a la vez de soporte. Las mangueras se arrastran regando una franja perpendicular al lateral.

- *Sistemas fijos.* Son fijos todos los elementos del sistema son fijos (bombeo, red de riego y emisores). Se consideran sistemas fijos siempre que los elementos de instalación permanezcan inmóviles durante toda la época de riegos. El sistema es fijo, los laterales pueden ir enterrados, lo que facilitara las labores agrícolas. Los sistemas fijos suponen un menor gasto en mano de obra, pero como se acaba de comentar, también una mayor inversión inicial. Dentro de los sistemas fijos se pueden distinguir dos tipos, los sistemas aéreos y los enterrados. Los sistemas fijos aéreos constan de una red de tuberías principales enterradas y unos ramales de riego que se encuentran sobre el terreno. Estos ramales pueden ser trasladados a otras parcelas o a otra zona de la misma en función de la rotación de cultivos existente en la explotación.



Figura 7. Sistema de riego por aspersión fijo.

Los sistemas fijos enterrados se denominan comúnmente cobertura total enterrada y tienen toda la red de riego bajo la superficie del terreno. En este caso, el diseño del marco de riego más adecuado tiene mucha importancia, ya que no podrá ser modificado fácilmente.

El marco de riego determina el solape entre los círculos mojados por los emisores contiguos. El marco de riego indica la distancia entre emisores de la misma línea, la distancia entre las líneas y la disposición (rectangular o triangular). Por ejemplo, el marco 21x18T se corresponde con una separación entre aspersores de 21 m, una separación entre líneas de 18 m y una disposición triangular. Los marcos más usados son: 12x12R, 12x15R, 15x15R, 12x18R y 18x18R en rectángulo y 18x15T o 21x18T en triángulo. En los últimos años se están realizando transformaciones en el marco 18x18T, que dan buenos resultados aunque no es muy ortodoxo porque los triángulos que este marco genera no son equiláteros, sino isósceles. Dicho marco de riego depende de las características del terreno (pendiente, irregularidades, tipo de suelo...), de la dirección del viento dominante, de la precipitación media requerida del equipo de aspersión y de los emisores que se desean instalar. En estos sistemas, al estar fijos todos sus componentes, el cambio de sector de riego se realiza mediante apertura y cierre de válvulas, lo que facilita la automatización del sistema. Las tuberías suelen ser de PVC o de Polietileno y los tubos porta aspersores de acero o hierro galvanizado.

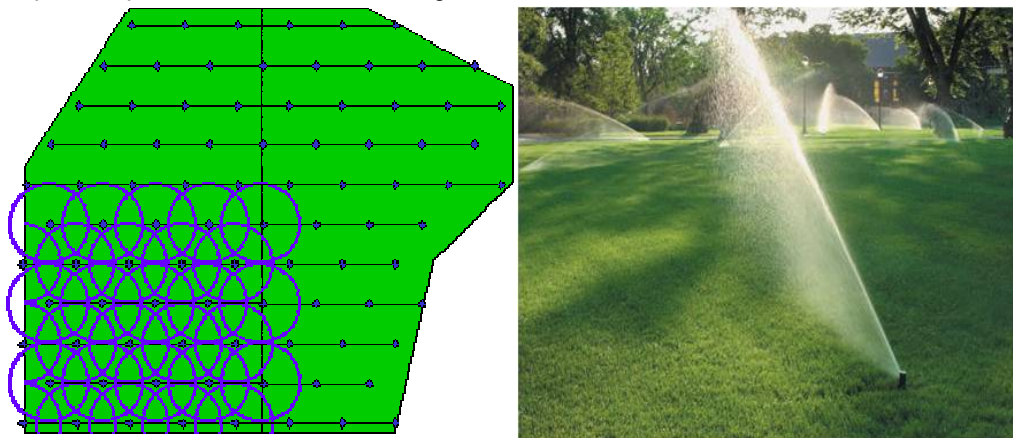


Figura 8. Sistemas de riego por aspersión fijo enterrado.

2.7.6.2 Sistemas mecanizado o maquinas de riego

En este apartado se incluyen tanto el sistema se riega a la vez que se desplazan, como los sistemas en los que solo esta mecanizado el transporte.

- Cañones de riego o enrolladores.

Estos equipos de riego constan de un aspersor de gran alcance instalado sobre un patín, unido a una manguera de gran longitud auto enrollable a un gran tambor que va sobre un bastidor con ruedas. Son muy útiles en riegos de apoyo por la rapidez de riego de grandes superficies aportando pequeñas dosis, o en zonas húmedas donde se pueden espaciar los riegos. Su inconveniente es que no es adecuado para cultivos sensibles, un desfavorable impacto de grandes gotas de riego sobre el suelo, el que se produzcan destrozos en los cultivos, requiere de una presión elevada, entre otros.



Figura 9. Cañón de riego con carrete.

- Torniquete hidráulico, aspersor gigante o “boom”.
- Pivotes.

Es un ramal de riego con un extremo fijo, por el que recibe el agua y la energía eléctrica, y otro móvil que describe un círculo girando alrededor del primero. El equipo de riego se basa en el movimiento de una tubería porta emisores que se apoya en unas torres automotrices. Estas torres están dotadas de un motor eléctrico y dos ruedas neumáticas. La tubería, que normalmente es de acero galvanizado, sirve junto con barras o cables, de elemento resistente para vencer el peso entre torres. La distancia entre torres va desde 25 a 75 m, aunque lo más normal son las torres de 38 m (tramo corto) y 55 m (tramo largo). La longitud total del equipo varía de 60 a 800 m. La superficie regada es un círculo dependiendo del radio o longitud del lateral, pudiéndose regar hasta 180 ha.

El centro pivote está formado por una estructura de acero en forma de pirámide que va anclada en una zapata de hormigón. Sostiene un tramo vertical de tubería que lleva una junta estanca, a base de anillos rozantes, que permite el giro. A la parte superior de esta tubería va unida la tubería portaemisores mediante un codo que puede girar libremente.

El recorrido del pivote lo controla un automatismo que suele estar instalado en el centro pivote. Este mecanismo hace avanzar las torres de una en una y dispone de un mecanismo de alineamiento que funciona de la siguiente manera: En primer lugar comienza a avanzar en sentido circular la torre más alejada del centro del equipo. Cuando el tramo más alejado del

centro y el siguiente forma un ángulo de unos 20°, el automatismo para el movimiento de la torre más alejada y hace funcionar la siguiente. De esta forma se provoca una reacción en cadena de avance que hace que, cuando todas las torres hayan realizado su recorrido, el equipo se encuentre de nuevo alineado y se pueda volver a comenzar con la serie de movimientos. La velocidad de avance del equipo se regula actuando sobre el motor de la torre extrema, haciéndola funcionar en fracciones de minuto. Esto hace que el avance sea "a saltos", excepto cuando funciona al 100%, caso en el que la torre exterior no para. En este caso alcanza una velocidad máxima de 1,5 – 1,8 m/min, e incluso 3 m/min cuando se trata de equipos de gran longitud.

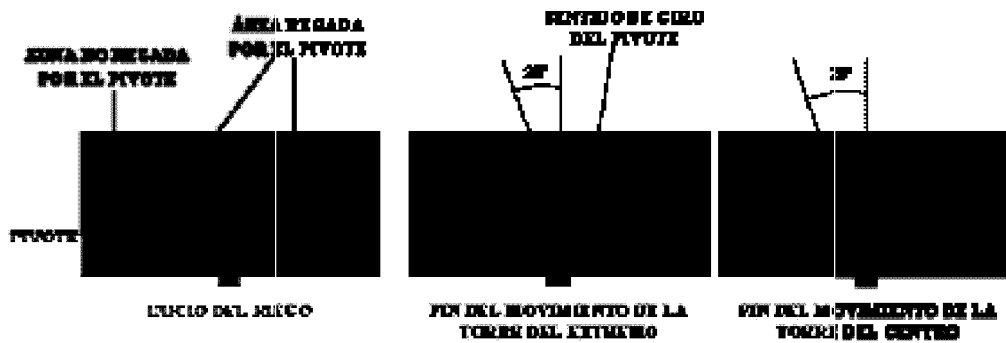


Figura 10. Demostración de recorrido de pivote central.

- Lateral de avance frontal.

Este equipo es de estructura semejante al pivote. Consiste en un ramal de riego montado sobre unas torres automotrices de dos ruedas que se desplazan en sentido perpendicular al ramal de riego. Riega superficies de forma rectangular.



Figura 11. Lateral de avance frontal.

La tubería portaemisores, los emisores y los sistemas de propulsión son semejantes a los ya explicados en el apartado anterior. Sin embargo, la forma de suministrar agua al equipo y el mecanismo de alineamiento presentan diferencias respecto al equipo pivote. El suministro de agua se realiza directamente desde una acequia o mediante una manguera flexible que es arrastrada

por el mismo equipo. En el segundo caso, se necesitan hidrantes cada 200 ó 300 m, llevando la máquina una manguera de 115 ó 165 m. La pérdida de carga en la manguera hace que necesite más energía en estos montajes que en los de toma directa de un canal. Sin embargo, los de tubería flexible pueden utilizarse en zonas con pendiente. En cuanto a la alineación de la tubería, lo más importante en los laterales de avance frontal es que las torres avancen siguiendo siempre la misma línea. Si se desviarán del recorrido trazado, las ruedas ocasionarían daños al cultivo y el equipo se saldría de la parcela. El avance rectilíneo y perpendicular a la línea de alimentación de agua puede conseguirse de dos formas:

- Mediante un cable enterrado en la parcela paralelo al movimiento de la máquina y una antena instalada en el tramo central que recibe una señal de radio. El cable forma un circuito cerrado, con una fuente de energía y un oscilador. Si el tramo central, que lleva la antena guía, deja de ser perpendicular al cable enterrado, manda una orden a una de las torres extremas. Así, ésta reduce su velocidad hasta que se restablece el alineamiento.
- Mediante un cable tendido a unos 50 cm sobre el suelo a lo largo de la línea de alimentación de agua. A este cable van "abrazados" dos palpadores unidos al carro que detectan si la máquina se desvía. Un inconveniente de este sistema puede ser el posible entorpecimiento al acceso a la parcela ya que el cable se encuentra en todo el lateral y a unos 60 cm de altura.

Las alas de avance frontal pueden tener longitudes de hasta unos 700 m y realizar recorridos de unos 3 km. Este tipo de riego tiene algunas ventajas como el tener elevadas uniformidades regando con bajas presiones. Sus desventajas es su elevado precio y complicado manejo.

2.7.7 Ventajas e inconveniente en el sistema de riego por aspersión

Ventajas:

- En el riego por aspersión se necesita menos mano de obra que en el riego por superficie.
- No es necesaria la preparación y nivelación previa del suelo, tanto en terrenos llanos como ondulados. Al suprimir la nivelación se disminuyen los costes de inversión y se evita la pérdida de fertilidad del suelo. Como no necesita canales, acequias y regueras, queda disponible para el cultivo la mayor parte del terreno regable.
- Se puede utilizar en una gran variedad de suelos, incluso en aquellos que exigen riegos frecuentes y ligeros. Puesto que la cantidad de agua aplicada únicamente es función del tiempo.
- El riego por aspersión permite establecer calendarios de riego muy perfeccionados ya que tenemos un perfecto control sobre la dosis aplicada en cada riego y por tanto permite el ahorro de agua.
- En las parcelas amuebladas con máquinas de riego por aspersión hay una mayor posibilidad de mecanizar los cultivos, ya que se eliminan los obstáculos propios del riego por superficie. Sin embargo en las coberturas enterradas los aspersores pueden dificultar en cierta medida la mecanización de los cultivos.

- Se reduce la pérdida de elementos fertilizantes por lixiviación ya que se puede adaptar la dosis de riego a las características del suelo de la parcela.
- El riego por aspersión se puede utilizar de un modo eficaz en la lucha contra las heladas.
- Se puede utilizar también para realizar fertilizaciones y tratamientos fitosanitarios. La incorporación del fertilizante en el agua de riego permite un fraccionamiento del abonado que es realmente eficaz para conseguir un desarrollo óptimo del cultivo y evitar pérdidas de fertilizantes.
- Se adapta a la rotación de cultivos y a los riegos de auxilio.
- Es el método más eficaz para el lavado de sales aunque la energía empleada en la aplicación encarece la operación.
- Es muy eficaz para facilitar la nacencia de las plántulas en suelos encostrados.
- Se puede automatizar fácilmente.

Inconvenientes:

- Puede producir interferencias sobre los tratamientos por el lavado de los productos fitosanitarios que protegen la parte aérea del cultivo.
- El riego por aspersión no puede utilizarse cuando se tienen aguas salinas. Se originan problemas de salinidad en las hojas. Esto se debe a que, al evaporarse el agua, aumenta la concentración de sales en la superficie de las hojas de los cultivos.
- Mala uniformidad en el reparto del agua por la acción de fuertes vientos.
- Elevado coste de primera instalación (que es inversamente proporcional a la superficie de riego) y gastos derivados del coste energético necesario para dar presión al sistema. Sin embargo, esto se compensa con la supresión de otros gastos (nivelación, construcción de acequias, etc.).
- En algunos cultivos y en algunas fechas la vegetación puede verse perjudicada por un incremento de enfermedades criptogámicas. También se puede dificultar la fecundación cuando se riega en época de floración.

2.8 Componentes de la instalación de un sistema de riego por aspersión.

Los componentes principales de un sistema de riego por aspersión son los siguientes de acuerdo a la adaptación de cada una de ellas.

2.8.1 Cabezal de riego

El cabezal de riego comprende una serie de elementos que sirven para sacar el agua de la pila, pozo profundo, cárcamo, medirla y filtrarla, comprobar su presión inicial y la incorporación de fertilizantes (tubería de succión, bomba, motor, filtros, medidores de agua, manómetro y equipo de fertirrigación).

2.8.2 Fertirrigación

Se entiende por fertirrigación la adición de abonos al agua de riego. Para ello se requiere la utilización de abonos líquidos o sólidos muy solubles. La fertirrigación permite suministro de fertilizantes a las plantas de forma racional, cómoda y económica. (Fco. Javier Martínez Cortijo)

Para llevar a cabo la fertilización en los sistemas de riego se mencionan los siguientes equipos a usar:

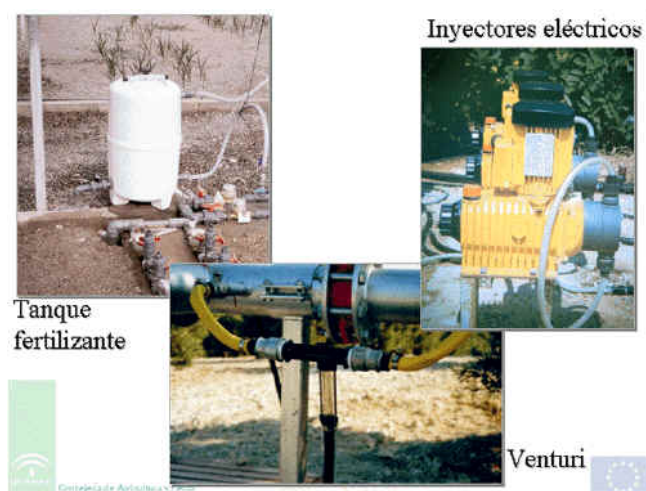


Figura 12. Equipos para fertirrigar.

- **Tanques de fertilización.** Son depósitos herméticamente cerrados llenos de abono, conectados en paralelo a la red principal de riego, de tal manera que parte del agua de la red entra en los tanques empujando al abono a la red. Los tanques son baratos pero presentan problemas de uso por su poca uniformidad de aplicación. Son depósitos de distinto (normalmente 50-150 litros) con la solución nutritiva en su interior. Para su funcionamiento se deriva una cantidad de agua de la red principal y se hace pasar por el interior del tanque, el agua se va mezclando con el fertilizante y, arrastrando parte de este, se incorpora de nuevo a la red principal. Con el paso del agua la concentración disminuye, es decir, el fertilizante no se aporta en cantidad constante con el tiempo.
- **Inyector Venturi.** Consiste en un tubo unido en paralelo con la red principal de riego, con diámetro de tubería menor a la conducción para que haya una succión. La **inyección** generalmente está constituida por un depósito abierto, donde se prepara la solución de fertilizantes, desde donde se inyecta a la red de riego a una presión superior, mediante una bomba inyectora de pistón o membrana, que puede ser hidráulica o estar accionada por un motor eléctrico o de combustión. Es recomendable la colocación de agitadores, normalmente de inyección de aire (burbujas) o de hélice, para mantener homogénea la disolución y evitar precipitaciones. De esa manera se produce una succión del abonado,

debido al efecto Venturi que produce el estrechamiento del tubo. Tiene la ventaja de que aporta caudal constante, produce grandes pérdidas de carga (de 0.7 a 1 kg) y necesita un mínimo de presión en la red.

- **Los inyectores eléctricos o hidráulicos.** Estos inyectores también llamados inyectores dosificadores inyectan (mediante una bomba conectada al motor) la solución nutritiva contenida en un depósito que no está conectado a la red de distribución y por lo tanto no está sometido a presión. Mantienen una concentración constante de fertilizante en el agua de riego que puede ser seleccionada con un dosificador acoplado al inyector.

2.8.3 Red de distribución

Es llamada también red de tubería, la cual en un sistema de riego por aspersión lo integran todas aquellas partes que conducen el agua desde la fuente de abastecimiento hasta el área de cultivo. De acuerdo a su posición y función de cada parte se clasifican de la siguiente manera:

- Tubería de conducción
- Tubería principal.
- Tubería secundaria (*ramal sectorial*).
- Tubería terciaria (*ramales de alimentación*).
- Tubería regante (*ramales laterales o alas regadoras*).
- Aspersor.

Tubería de conducción. es el conjunto de tuberías encargadas de conducir el agua desde la fuente de abastecimiento hasta las secciones de riego donde son conectadas a las líneas de principales.

Tubería principal. Es la tubería encargada de suministrar el agua a las diversas tuberías. De ella se derivan las tuberías secundarias.

Tubería secundaria. Es la tubería que conduce el agua a cada uno de las líneas regantes.

Tubería regante. Es el tubo que va a distribuir el agua a cada aspersor desde el primero al último. Lo cual es considerado como una salida por lo que existen múltiples salidas.

2.9 Elementos de control y de regulación de flujos.

Entre los elementos de regulación y control de flujo están las válvulas de distinto tipo: de paso, reguladoras de presión, de retención (check), hidráulicas, eléctricas, volumétricas, etc. Su operación directa o indirecta (mediante programadores) regula el comportamiento del flujo y la presión en la red.

- **Reguladores:** Son válvulas que se colocan en línea con las tuberías que forman la instalación y

permiten absorber el exceso de energía de la red, proporcionando un valor constante de presión y/o caudal del agua.

- **Los reguladores de caudal** constan, en esencia, de una membrana elástica con un orificio central que se contrae o distiende de acuerdo con la presión que actúa, para dejar pasar un caudal constante. Vienen calibradas para un caudal de salida fijo que no puede alterarse.



Figura 13. Válvula reguladora de Caudal

- **Los reguladores de presión** consisten en un cuerpo cilíndrico, metálico o plástico, en cuyo interior se desplaza un pistón que queda retenido por un muelle. El agua atraviesa la válvula siguiendo un recorrido sinuoso. Cuando la presión de ésta aumenta, vence la resistencia del muelle, y se produce el desplazamiento del pistón, que a su vez disminuye el tamaño del orificio de entrada de la válvula. De esta forma se reduce la presión de salida del agua. Cuando la presión de salida equilibra la fuerza ejercida por el muelle, cesa el movimiento del pistón.

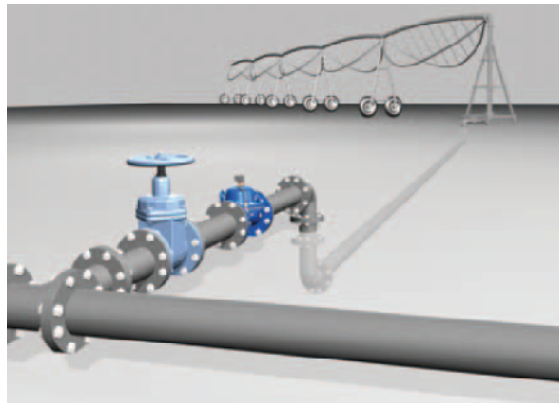


Figura 14. Válvula reguladora de presión.

2.10 Selección de aspersores

Existen diferentes criterios para seleccionar un aspersor las cuales se dan a continuación:

- a) Tipo de cultivo. El aspersor se determina de acuerdo a los cultivos resistentes al impacto de las gotas, si son cultivos resistentes los aspersores serán de radio grande y al igual la presión, si los cultivos se denominan sensibles como el caso de frutales y los vegetales se utilizaran aspersores de medio y de bajo alcance.
 - b) Calidad de agua. De donde proviene el agua y que sistema de filtrado tienen o tendrán ya que en algunos casos el agua conduce materia orgánica e inorgánica (física), también si el agua es baja o alta en sales (química).
 - c) Velocidad de aplicación. Se selecciona el aspersor de acuerdo a la velocidad de aplicación relacionada con la velocidad de infiltración de suelos típicos.
 - d) Tiempo de riego. Es el tiempo que se dedica al riego propiamente tal, pues al variar este factor, al variar este factor puede influir en el número de aspersores y en la velocidad de aplicación. Por lo que este factor afecta el área mínima a regar, que determina el número de aspersores que funcionan en forma simultánea
- a) Viento. El viento afecta en el patrón de distribución de los aspersores.
 - b) Distribución de cultivo. Con esto se señalara los espaciamientos entre aspersores (marco de riego) por tener una buena distribución de agua (pluviometría de aspersor).
 - c) Tamaño de boquilla. El tamaño de boquilla va de acuerdo a la presión del aspersor e influirá mucho también en el factor viento.

Este último ya es para saber que aspersor se requiere y va dependiendo mucho de las áreas a regar y los puntos anteriores se adaptaran las diferentes tipos de boquillas.

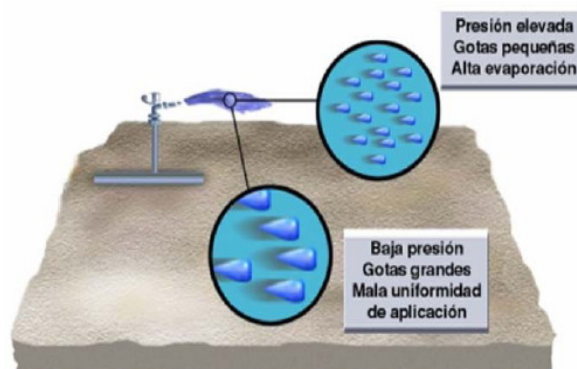


Figura 15. Causas de la presión en el aspersor.

Cada aspersor tiene un rango de presión óptima para cada boquilla, para una misma boquilla si se baja la presión el aspersor riega con gotas gruesas, si la presión se aumenta las gotas serán finas.

Marco de riego y pluviometría.

Marco de riego. Es la separación entre ramales y aspersores.

Pluviometría. Es la cantidad de agua que arroja el sistema de riego en una unidad de tiempo, mm/h.

1 mm = 1 l/m² = 10 m³/ha

Antes de seleccionar el tipo de aspersor se elegirá precisamente, el marco de riego y la pluviometría que arroja. Dicha pluviometría no debe superar la permeabilidad (infiltración) del terreno para no crear encharcamientos o escorrentías. (Si se aporta más agua de la que el suelo es capaz de absorber, el agua se escurre por el terreno si hay pendiente o se encharca si no hay pendiente).

Los aspersores aportan el agua moviéndose de forma circular o en sector circular. Sobre un terreno, para que no queden espacios sin regar, la lluvia de unos aspersores se debe solapar con los aspersores de al lado. Sobre esto hay unas normas o consejos que redundan en una mayor uniformidad y eficiencia del riego.

El alcance de los aspersores debe ser:

— Para marcos en cuadrado y triángulo (a x b, por ej.). El radio de alcance del aspersor, al menos igual al marco de separación. *Si es marco de 12 x 12, el radio de alcance del aspersor debe ser al menos de 12 m*

— Para marcos en rectángulo. El diámetro de alcance del aspersor debe ser al menos el 80% de la separación de lado más corto y el 150% del lado más largo.

El marco de riego se hace para saber el gasto del aspersor.

$$q_e = m * I t$$

Donde:

q_e= gasto del emisor o aspersor, lph.

m= marco de riego, m

I_t= permeabilidad o infiltración del terreno.

2.10.1 Diseño agronómico de sistema de riego por aspersión

El diseño agronómico tiene por finalidad garantizar que la instalación sea capaz de suministrar la cantidad suficiente de agua, con una eficiencia de aplicación del agua. Se desarrolla en dos fases:

-- Cálculo de las necesidades de agua.

-- Determinación de los parámetros de riego: lámina, frecuencia e intervalos entre riegos y duración del riego.

La primera es un factor independiente a la segunda, en ella se toman los pasos a seguir:

1. Se recogen los datos climáticos (principalmente la media de las temperaturas medias diarias para el mes de máximas necesidades y la precipitación efectiva)

2. Se calcula la evapotranspiración potencial (ET_p) a partir de los datos climáticos (Método de Blaney y Criddle, et al)
3. Se calcula la Evapotranspiración del cultivo (ET_c), considerando un coeficiente del cultivo (K_c) a partir de tablas, mediante la fórmula:

$$ET_c = ET_p \cdot K_c$$

La segunda fase es una variable dependiente donde se consideran los valores de la primera fase, como sigue:

- 1.- Cálculo de la lámina de riego se obtiene con la siguiente ecuación:

$$L_r = \frac{(H D T - (\theta_c - \theta_p) p) D_a \cdot Z_r}{100} \quad L_r = \frac{A H D}{100} \cdot H D \cdot z_r$$

Donde:

L_r = Lámina de riego, cm o mm

HDT= humedad disponible total; cm/m

AHD= abatimiento de la humedad disponible, %

Z_r= profundidad radicular, cm.

Normalmente el abatimiento de humedad disponible se considera desde un valor de 50 a 75 %, ya que esta nos indica el nivel de estrés hídrico de planta al cual queremos condicionarla.

- 2.- Frecuencia de riego, Fr o Intervalo de Riego IR. La frecuencia de riego nos indica cada cuantos días se regara el cultivo para satisfacer la necesidad hídrica de la planta en base a la lámina de riego. Se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$I R = \frac{L_r}{E T_c}$$

Si IR nos sale un número no entero lo redondearemos hacia arriba. Se sigue con una lámina de riego ajustado con la ecuación anterior.

- 3.- Duración de riego o tiempo de aplicación. Es el tiempo en que se tarda el aspersor en aplicar el agua necesaria para el cultivo, dotándose con la siguiente ecuación

$$T = \frac{L_r a j}{P}$$

Donde:

T= tiempo de aplicación, horas o minutos.

L_{raj}= lámina de riego ajustado, mm.

P= pluviometría o precipitación del aspersor, mm/h.

Si se quiere saber el tiempo total del riego en la ET_c se toma la total, pero si se quiere saber por sección o bloque se toma el valor de ET_c máximo.

La pluviometría se obtiene en el momento de la selección del aspersor.

Con el levantamiento topográfico, marco de riego, selección de aspersor y el diseño agronómico con esto podemos calcular el número de aspersores simultáneos, ya que estos aspersores definirán las

secciones de riego, esto se hace ya que no podemos regar en un solo tiempo toda el área demandante.

Para ello se usa utiliza la siguiente ecuación

$$N A S i m = \frac{S t}{m * N P * I R}$$

Donde:

NASim= numero de aspersores simultáneos

NP= numero de posiciones por día.

St= Área o superficie total, m².

IR= intervalo de riego, día.

m= marco de riego, m²

Las posiciones de horas se obtienen de la siguiente expresión $N P = \frac{T D r}{T}$, TDr es el tiempo diario disponible para llevar a cabo el riego.

Ahora teniendo los aspersores simultáneos se procede a la determinación de las secciones de riego.

$$N S e c = \frac{N A t}{N A s i m}$$

Donde:

NSec= numero de secciones

NAt= Numero de aspersores totales.

$$N A t = \frac{S t}{m}$$

Cuando es un área rectangular o cuadrado, se toman los números de aspersores totales, pero si el terreno es irregular se toma un 10% más del total de aspersores para compensar la irregularidad del terreno.

2.11 Abastecimiento de agua

Es el caudal requerido por el sistema de riego lo cual debe existir un balance de agua de acuerdo a la demanda de las secciones de riego, para saber si el agua requerida se encuentra por arriba o debajo de lo disponible y así hacer una planeación en la cantidad de posturas por día.

$$Q t = n * q a$$

Donde:

n= numero de aspersores total.

Qt= caudal total, lps.

qa=caudal de aspersor, lps

2.12 Velocidad permisible en la tubería y cálculo de diámetros

Para evitar taponamientos en los emisores 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 .3 a 1.5m/s (SARH, 1981), de 1.5 a 3 m/S (Martínez Cortijo, 1991), y de .9 a 2m/s (peña, 1993). Una vez que se fija la

velocidad, el diámetro se obtiene de la siguiente forma.

Una vez que se obtiene la velocidad, el diámetro se obtiene de la siguiente forma:

$$Q = A * V \qquad A = \frac{\pi * D^2}{4} \qquad D = \left(\frac{4 * Q}{V * \pi} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

Q= Gasto (m³/s)

D= Diámetro interior, (m)

V=Velocidad (m/s)

2.13 Diseño hidráulico

Una vez seleccionado el aspersor se procede a determinar las secciones de riego, línea de conducción, distribución y los elementos del cabezal de descarga. Uno de las características de un irrigador es conocer el área de cultivo, la topografía del mismo y la fuente de abastecimiento de agua. Ubicarlas a todas para proceder con los siguientes pasos.

2.13.1 Cálculo hidráulico de la pérdida de carga

La pérdida de carga por fricción de la tubería se calcula con la ecuación de Hazen - Williams esta es una formula empírica, esta se deriva de los resultados de numerosas pruebas efectuadas en el transcurso de muchos años de investigación.

$$hf = \frac{1742.8}{D^{4.87}} * \left(\frac{Q}{C} \right)^{1.852} * L$$

Donde:

Hf= Pérdida de carga, mca.

D =Diámetro interno de la tubería, pulgadas

Q= Gasto en la entrada de la tubería, l/s.

C= Coeficiente de rugosidad del tubo.

L= Longitud de la tubería, m

La ecuación anterior es verdadera, pero en realidad en la tubería de conducción generalmente se le agrega un accesorio (ya sea regulador de presión, válvulas expulsora y aliviadora de aire, etc.) o varios accesorios.

$$hf = \frac{1742.8}{D^{4.87}} * \left(\frac{Q}{C} \right)^{1.852} * L * 1.023$$

El 1.023 es la perdida por accesorios o también llamados perdidas singulares (*apuntes de sistemas de abastecimiento de agua*). Generalmente las perdidas singulares algunos diseñadores toman el valor de 1.10.

En la tubería con salidas múltiples la pérdida por fricción es calculada con la ecuación anterior, pero multiplicando por un coeficiente de salidas múltiples.

$$h_{f l} = \frac{1742.8}{D^{4.87}} * \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.852} * L * C S M$$

Donde:

$h_{f l}$ = pérdida de carga en lateral, mca.

CSM = Coeficiente de salidas múltiples, (adimensional).

Las pérdidas locales en la tubería por accesorios son alrededor del 10% de la pérdida de fricción total de la tubería.

Tabla 13. Valores de Coeficiente de fricción para la ecuación de Hazen – Williams

Material del tubo	C
PVC	150
Plástico	150
Acero de cubierto con epóxico	145
Asbesto cemento	140
Hierro galvanizado	135
Aluminio	130
Fierro nuevo	130
Fierro (15 años de uso)	100

$$C S M F = \frac{N(N + 1)(2 * N + 1)}{6 * N^3}$$

Esta ecuación es una de las tantas representadas y es la ecuación de Christiansen y de acuerdo al número de salidas lo cual se demuestra a continuación en la Tabla nnn.

Tabla 14. Coeficiente de Salidas Múltiples, CSM., con método Christiansen.

No. Salidas	Factor, CSM	No. Salidas	Factor, CSM
1	1.000	16	0.365
2	0.625	17	0.363
3	0.519	18	0.362
4	0.469	19	0.360
5	0.440	20	0.359
6	0.421	21	0.358
7	0.408	22	0.356
8	0.398	23	0.355
9	0.391	24	0.354
10	0.385	25	0.354
11	0.380	26	0.353
12	0.376	27	0.352
13	0.373	28	0.351
14	0.370	29	0.351
15	0.367	30	0.350

Para calcular la carga requerida (CDT, en metros) en el sistema se calcula la siguiente forma.

$$C D T = P a s + \sum h f + \Delta Z + L s$$

Donde:

$\sum h f$ = Sumatoria de las pérdidas por fricción en tubería y accesorios, mca.

ΔZ = Diferencia de altura (cota) de la tubería, m.

Pas = presión en la boquilla de aspersor, mca.

Ls = Longitud de la succión, m.

Al obtener la carga dinámica total del sistema se procede a la determinación de la bomba, hay que recordar que son datos teóricos los cuales los relacionaremos con la información del fabricante (comercial)

$$H P c a l c = 0.018 * Q * H$$

Donde:

HP calc = Potencia de la Bomba calculado o teórico, HP

0.018 = es un coeficiente donde ya integra la eficiencia de la bomba, ef.=70%. Recuerden que las curvas de bombas de fabricante tiene una curva de eficiencias donde si desean usar una de mejor eficiencia procederán a obtener el modelo de la bomba sin ningún problema.

Q = gasto o descarga a usar en el sistema de riego, LPS

H = es la carga dinámica total que debe superar la bomba, mca.

Por lo general el HP calculado \leq HP comercial para que pueda dominar la carga y satisfacer al aspersor.

2.14 Automatización de sistemas de Riego.

Una red de riego automática trae muchas ventajas, que se enuncia a continuación.

- Hay redes de riego automáticas que están concebidas para desarrollar programas de riego previamente establecidos, de acuerdo con lo que sea más conveniente para el cultivo.
- Con la automatización de una red de riego se puede ahorrar agua, además que permiten una entrega más exacta de las cantidades de agua, mejorando de esta manera la eficiencia del riego.
- El manejo manual de redes de riego origina en ocasiones maniobras equivocadas en las válvulas, lo cual implica pérdidas de agua.
- Otras de las ventajas de la automatización es el ahorro de tiempo y dinero en cuanto a mano de obra, ya que, se gastara menos agua y dinero en pago de jornales, quedando horas libres a los regantes para dedicarse a otras actividades. Los costos iniciales de un sistema automatizado es elevado, pero a largo plazo estos valores son mucho menores que lo que costaría pagar a los operarios por el manejo manual de los mismos.

MATERIALES Y METODOS

3.1 Aspectos generales

Lugar donde se llevará a cabo la obra: Gran Bosque Urbano
Tipo de sistema de riego: Riego por aspersión estacionario fijo automatizado
Superficie a irrigar: 17.9 has.
Municipio: Saltillo.
Estado: Coahuila.
Finalidad de la obra: zona recreativa para la sociedad botándose así como un verdadero bosque.

3.2 Caracterización y reconocimiento del terreno

Para el diseño del sistema de riego por aspersión, se recabó información y datos necesarios para un diseño óptimo, que cumpla con los requerimientos máximos de agua del cultivo. Donde se hizo un levantamiento topográfico y se ubicó el cárcamo de bombeo.

3.3 Clima y localización

Localización. El proyecto de Diseño de Sistema de Riego por Aspersión se está llevando en Gran Bosque Urbano, Saltillo, es la ampliación de la misma. Se encuentra a una altitud de 1550 a 1600 msnm. Se localiza en las siguientes coordenadas UTM (X, Y): 302358.94, 2813715.6; 3216.98, 281361.68; 302484.22, 2813694.157; 302536.7, 2812698.16, zona 14.

Clima. El clima de Saltillo es templado; con una temperatura promedio de 17°C. El invierno es fresco siendo comunes las temperaturas por debajo de 0 °C llegando en ocasiones a -7 °C y pudiendo nevar. El verano es cálido con temperaturas que pueden superar los 32°C algunos días y teniendo tormentas eléctricas por las tardes.

La temperatura media de saltillo es la siguiente obtenidos de normales climatológicas:

Tabla 15. Temperatura de Saltillo, Coahuila.

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Máxima	19.7	20.7	25.7	28.1	29.9	30.1	29.4	28.8	26.5	24.7	22.2	20.2
Mínima	5	5.7	10	12.5	15.2	16.2	16.4	15.8	14.6	11.8	8.1	6
Media	12.35	13.2	17.85	20.3	22.55	23.15	22.9	22.3	20.55	18.25	15.15	13.1

De acuerdo a las normales climatológicas de Saltillo las precipitaciones son las siguientes:

Tabla 16. Precipitación de Saltillo, Coahuila.

Máxima	22.5	33	25	50.5	49	111.5	128	240	103.8	62.5	89	51.4
Mínima	1.5	0.5	0.5	0.5	6.5	1.5	6	19	24	4	0.5	0.5
Media	12	16.75	12.75	25.5	27.75	56.5	67	129.5	63.9	33.25	44.75	25.95

La precipitación en Saltillo, se encuentran más fuertes del mes de Junio a Septiembre con una precipitación de 515.6 mm/año.

3.4 Tipo de suelo y topografía

Se pueden distinguir cinco tipos de suelo en el municipio:

Xerosol: Suelo de color claro y pobre en materia orgánica y el subsuelo es rico en arcilla o carbonatos, con baja susceptibilidad a la erosión.
Regosol: No presenta capas distintas, es claro y se parece a la roca que le dio origen. Su susceptibilidad a la erosión es muy variable y depende del terreno en el que se encuentre.
Feozem: Su capa superficial es suave y rica en materia orgánica y nutriente. La susceptibilidad a la erosión depende del tipo de terreno donde se encuentre.
Rendzina: Tiene una capa superficial rica en materia orgánica que descansa sobre roca caliza y algún material rico en cal, es arcilloso y su susceptibilidad a la erosión es moderada.
Litosol: Suelos sin desarrollo con profundidad menor de 10 centímetros, tiene características muy variables según el material que lo forma. Su susceptibilidad a la erosión depende de la zona donde se encuentre, pudiendo ser desde moderada a alta.

Para el Gran Bosque Urbano el tipo de suelo es litosol.

El tipo de suelo en la ampliación del Gran Bosque Urbano es relleno donde existe material de escombro y caliche en la mayor parte del área, en las partes donde el suelo es original el tipo es **Arcilloso**. Para el caso de los cultivos a establecer se tendrá que optar por un estrato de suelo limoso (de 30 cm) para su crecimiento y desarrollo radicular. La topografía del terreno es totalmente de acuerdo al sistema a establecer con un promedio de pendiente $\pm 2\%$.

3.5 Fuente de abastecimiento

El agua a usar será de la planta de tratamiento de Aguas de Saltillo, donde la fuente de abastecimiento (pila de geomembrana) se ubica dentro del Gran Bosque Urbano donde se dispone de 4128.6 m³. No cuenta con cabezal de riego por lo que se procederá a la determinación.

3.6 Especies a regar

Primeramente se identifican las especies las que se encuentran – o se sembraran- en el área de estudio. El principal especie es el pasto, la que mayor área de influencia tendrá, algunos otros como eldárica, greggi, alepo, ayacahuita, moctezuma, pino piñonero, fresno, palo blanco, pirúl, encino rojo, roble y siempre verde.

La necesidad de agua de cada especie se toma el que tiene mayor cobertura y mayor evapotranspiración en este caso es el pasto.

3.7 Selección del sistema de riego

La superficie a regar es prioridad para el sistema de riego por **aspersión** por la gran extensión de terreno que se dispondrá, se elije ésta ya que ahí está el sistema de riego por goteo y es aplicable en áreas pequeñas ya que el área de mojado es pequeño. El tipo de sistema de riego será **estacionario fijo** por que es para jardinería y el riego se aplicara por las noches, claro que ningún personal estará disponible a esas horas de la noche y el sistema estará **automatizado**.

3.7.1 Selección aspersor

El aspersor se seleccionó de acuerdo al espaciamiento entre aspersores y ramales (marco de riego) de esto se obtuvo la presión, el gasto del aspersor, el radio de mojado y pluviometría.

Radio mojado en campo = 10 m *10 m, radio de mojado en catalogo= 13.2 m.

Presión= 2.5 bar

Gasto aspersor=1.21 m³/h = 0.3361 lps

Pluviometría=14 mm/h en cuadrado

Tabla 17. Determinación del Aspersor.

Toberas	bar	m	m ³ /h	■ mm/h	▲ mm/h
6,0	1,7	11,9	0,97	14	16
	2,0	12,4	1,05	14	16
	2,5	13,2	1,21	14	16
	3,0	13,9	1,34	14	16
	3,5	14,2	1,45	14	17
	4,0	14,9	1,55	15	17
	4,5	14,6	1,64	15	18

3.7.2 Diseño agronómico

En el diseño agronómico se considera el consumo de agua (la evapotranspiración) del cultivo a regar y los factores climáticos como la temperatura, precipitación y porcentaje de horas luz; dependiendo que método se aplicara para la evapotranspiración.

Se obtiene también la lámina de riego a aplicar y la frecuencia de riegos. Por lo que se sabe cuánta agua se usara para satisfacer la necesidad del cultivo durante el ciclo.

3.7.3 Cálculo de necesidades de agua

El método empleado en este caso es el método de Blaney – Criddle ya que es la que más se adapta de acuerdo con los datos de las estaciones meteorológicas.

La ecuación es $E T = K * F$

Donde: ET = evapotranspiración real total del cultivo expresada como lamina (cm) y K=coeficiente total de ajuste que depende del cultivo y de la ubicación de la zona de estudio.

$F = \sum_1^n f$ Donde $\sum_1^n f$ = Es la suma de los valores "f" de todos los meses (desde el mes 1 hasta el mes n del ciclo vegetativo del cultivo en cuestión).

Para calcular el valor de f se utiliza la siguiente ecuación:

$$f = \left[\frac{T + 18}{218} \right] * P * D u r \acute{o}n \text{ m e s} \quad D u r \acute{o}n \text{ m e s} = \frac{N \acute{u}m e r \text{ d i a s o n s i d e r a d a s}}{N \acute{u}m e r \text{ d i a s e n m e s}}$$

En este caso tomaremos como el cultivo de máxima demanda tiene, en este caso es el pasto.

Tomaremos los datos del mes con la máxima temperatura durante el año y como el pasto es un cultivo anual pues se cuentan todos los meses y otro de los factores que lo distinguen es que es de cobertura total.

Mes de temperatura máxima: Junio con 23.15 °C.

De acuerdo a la localización se obtiene la P (% de horas luz de Tabla nnn): 9.25

Duración del mes 30 días por lo tanto $D u r \acute{o}n \text{ m e s} = \frac{30}{30} = 1$

$$f = \left[\frac{23.15 + 18}{218} \right] * 9.25 * 1 = 17.38$$

Como la ecuación de Blaney – Criddle fue hecha para el Este de EU, para usarlo a otros medios fuera de EU se introdujo un coeficiente de temperatura $Kt = 0.031144 * T + 0.2396$

$$Kt = 0.031144 * (23.15) + 0.2396 = 0.96$$

Ya obtenido f y Kt se procede a calcular el valor de la evapotranspiración de referencia (ET_o), ya que, hasta este paso, únicamente se han considerado aspectos climáticos.

$$ET_o = f * Kt = 17.38 * 0.96 = 16.69$$

Se determinan los valores de los coeficientes de cultivo (K_c) (Tabla No. 2 y No. 3) y se calcula una primera estimación de la evapotranspiración potencial (ET_{c'}) $ET_c' = ET_o * K_c$, de acuerdo a la Tabla 21 el valor de K_c para el pasto para el mes de Junio es 0.9

$$ET_c' = 16.69 * 0.9 = 15.02$$

Ya para finalizar con el cálculo se determina un coeficiente de ajuste:

$K' = \frac{\sum ET_c'}{\sum_1^n f}$ Como verán esto se debe hacer para cada mes para poder obtener la sumatoria de f la cual es el siguiente valor f= 167.85 y de ET_{c'} es 113.06

$$K' = \frac{113.06}{167.85} = 0.674.$$

De la Tabla 7 se obtiene el valor de un coeficiente global de cultivo (K_G) y se calcula el valor final de la evapotranspiración, $K_G = 0.75$ y $\frac{K_G}{K'} = 1.113$

$$ET_e = ET_c' * \frac{K_G}{K'} \rightarrow ET_e = 113.06 * 1.113 = 16.73 \text{ cm} = 5.575 \text{ mm/día de máxima demanda.}$$

3.8 Determinación de los parámetros de riego

Se calcula la Lámina de riego

$$H D R = \frac{(35 - 18)}{100} * 1.25 * 100 = 21.25 \text{ cm / m.}$$

$$L r = \frac{50}{100} * 21.25 * 1 = 10.625 \text{ cm.}$$

Donde existe un intervalo de riego por cada mes ya que Saltillo tiene un clima semiárido, se da a conocer a continuación.

Para el mes de junio la determinación de lámina de riego para este mes es

$$I R = \frac{5.58 \text{ m m/d i a}}{106.25 \text{ m m}} = 0.052$$

Como IR es un número no entero lo redondearemos hacia arriba, o sea IR=1 (ajustado)

El valor de intervalo de riego esta ajustado por lo tanto se tendrá que ajustar la lamina de riego también $L r = 1 * \left(5.58 \frac{\text{m m}}{\text{d i a}}\right) = 5.58 \text{ c m}$ esto nos indica que Lr = ETc. En este caso fue así ya que será un riego por cada mes y ese riego deberá cumplir la demanda de agua del cultivo.

Al saber cuándo regar se determina el tiempo que tardara el riego, lo obtenemos de la siguiente

$$\text{manera } T = \frac{L r}{P}.$$

$$T = \frac{5.58 \text{ m m}}{14 \text{ m m/ho r a}} = 0.40 \text{ ho r a}$$

El tiempo de riego es 24 minutos para el caso del mes de junio esto se hace porque el Kc de cada mes cambia.

3.9 Diseño hidráulico del sistema

El gasto de cada sección será de 16 lps para regar ya que se cuenta con un terreno irregular donde no se puede especificar cuantos aspersores realmente regaran por eso se toma punto de inicio al gasto.

Tomaremos dos secciones importantes la **C1, 23** y **C2, 2** para determinar las Hf, CDT y la capacidad de la bomba y procederemos a una selección de la bomba donde sea más conveniente en cualquiera de las secciones.

La ecuación a requerir es la de Hazen – Williams

Datos de **C2, 2**:

Cota bomba=1596 m

Cota de ultimo aspersor=1616 m.

Línea (tubería) regante:

D (pulg)	L (m)	Qregante	csm
1	44	1.01	0.52
2	6	0.67	0.63

$$hf = \frac{1742.8}{14.87} * \left(\frac{1.01}{150}\right)^{1.852} * 44 * 0.52 = 3.8 \text{ m c a}$$

$$hf = \frac{1742.8}{14.87} * \left(\frac{2.02}{150}\right)^{1.852} * 6 * 0.42 = 0.63 \text{ m c a}$$

Línea (Tubería) secundaria:

D	L(m)	Q(LPS)	Q(LPS)	CSM
3	70	6.05	7.06	0.41
		1.01		
4	124	8.74	11.76	0.47
		3.03		

Se inicia con el cálculo de la tubería de 3"

$$hf = \frac{1742.8}{3^{4.87}} * \left(\frac{7.06}{150}\right)^{1.852} * 70 * 0.41 = 0.82 \text{ m c a}$$

El gasto que pasará de la tubería principal a la secundaria es Q=7.06+11.76=18.82 lps
hf en tubería de 4"

$$hf = \frac{1742.8}{4^{4.87}} * \left(\frac{18.82}{150}\right)^{1.852} * 124 * 0.47 = 2.54 \text{ m c a}$$

Tubería principal

TRAMO	D, pulg	Q. LPS	C	L, m
A - B	8	32	150	293

$$hf = \frac{1742.8}{8^{4.87}} * \left(\frac{32}{150}\right)^{1.852} * 293 * 1.023 = 1.19 \text{ m c a}$$

Generalmente las perdidas por válvulas que van en cada sección tienen una pérdida por fricción de 2 psi (1.41) como se regaran dos secciones por turno de riego por lo tanto hf válvula= 1.41*2=2.82 mca.

$$\sum hf = 3.8 + 0.63 + 0.82 + 2.54 + 1.19 = 8.98 \text{ m c a}$$

P.o.=24.5 mca

$$C D \text{ T} = 24.5 + 8.98 + 20 + 2.82 + 1.5 = 57.14 \text{ m c a}$$

$$H P \text{ c a} = 0.018 * 32 * 57.14 = 32.91 \text{ H P}$$

HP calculado debe ser menor que el HP comercial por lo que HP comercial es 50 HP para esta sección, ya que es la parte más alta del terreno. Donde requiere un transformador de 50 kVA.

Ahora se tomara el cálculo de HP para la sección más alejada de la fuente de abastecimiento de agua, o sea **C1, 23**.

Datos:

Cota bomba=1596 m

Cota de último aspersor=1569 m

Línea (tubería) regante:

D (pulg)	L (m)	ASPERSOR	No. Asp	Qregante	CSM
1	15	CC	2	0.67	0.63

$$hf = \frac{1742.8}{1^{4.87}} * \left(\frac{0.67}{150}\right)^{1.852} * 15 * 0.67 = 0.73 \text{ m c a}$$

Línea (Tubería) secundaria:

D, pulg	L, m	Q, lps	CSM
3	68	7.23	0.41
4	42	5.38+7.23=12.6	0.46

$$hf = \frac{1742.8}{3^{4.87}} * \left(\frac{7.23}{150}\right)^{1.852} * 68 * 0.41 = 0.83 \text{ m c a}$$

Para tubería de 4"

$$hf = \frac{1742.8}{4^{4.87}} * \left(\frac{12.6}{150}\right)^{1.852} * 42 * 0.46 = 0.41 \text{ m c a}$$

Tubería principal para llegar hasta la C1, 23

TRAMO	D, pulg	Q. LPS	C	L,m
A - 1	8	32	150	630.5
1 - 2	6	32	150	518.5
2 - Z	4	16	150	270.5

$$hf_{A-1} = \frac{1742.8}{8^{4.87}} * \left(\frac{32}{150}\right)^{1.852} * 630.5 * 1.023 = 2.57 \text{ m c a}$$

$$hf_{1-2} = \frac{1742.8}{6^{4.87}} * \left(\frac{32}{150}\right)^{1.852} * 518.5 * 1.023 = 8.58 \text{ m c a}$$

$$hf_{2-Z} = \frac{1742.8}{4^{4.87}} * \left(\frac{16}{150}\right)^{1.852} * 270.5 * 1.023 = 8.94 \text{ m c a}$$

Por lo que Hf desde A hasta C es:

$$Hf_{A-C} = 2.57 + 8.58 + 8.94 = 20.09 \text{ mca.}$$

hf válvula = 1.41*2=2.82, la hf se da en catalogo del producto.

$$\sum hf = 0.73 + 0.83 + 0.41 + 20.09 = 22.06 \text{ m c a}$$

$$P.o. = 24.5 \text{ mca}$$

$$C D T = 24.5 + 22.06 + 2.82 + 1.5 - 27 = 23.88 \text{ m c a}$$

$$H P c a = 0.018 * 32 * 65.93 = 13.75 \text{ H P}$$

HP calculado debe ser menor que el HP comercial por lo que HP comercial es 15 HP para esta sección.

RESULTADOS

4.1 Diseño del sistema de riego.

Para llevar a cabo el diseño de sistema de riego fue necesario la información de campo y la fuente de abastecimiento de agua.

Tabla 18. Información de la parcela

Área, A (Ha)	17.9
Área bajo riego, Ar (Ha)	17.9
Pendiente, So (%)	2

Tabla 19. Información de fuente de abastecimiento de agua

Gasto disponible, Ips	32
Fuente abastecimiento	tanque
Calidad de agua	bueno

Es importante también conocer los datos agronómicos de cultivo, para un buen diseño del sistema de riego; para que pueda ser eficiente y acorde a los requerimientos para el cultivo. Alguno de estos datos son proporcionados por el productor y otros son recabados técnicamente o calculados según sea el caso.

4.1.1 Diseño agronómico

El diseño agronómico corresponde a la identificación del cultivo que más agua necesite y de los parámetros que serán necesarios para realizar un buen diseño del sistema de riego.

Tabla 20. Información general del cultivo

DATOS DE CULTIVO	
Nombre	Pasto residencial
Fase	desarrollo
Kc máxima	0.9
Profundidad de la raíz, Pr (cm)	60
Duración ciclo vegetativo	todo el año
Evapotranspiración pico, Etc (mm/día)	5.58

4.1.1.1 Determinación de ETp

Para llevar a cabo el diseño agronómico se toman en cuenta ciertos factores que influyen directamente en las necesidades de agua de los cultivos como son: **clima, tipo de cultivo y fase de desarrollo.**

En el caso del clima; la temperatura, la humedad y el viento son los elementos climatológicos que inciden más directamente en las necesidades de agua de los cultivos, ya que en un clima soleado, seco cálido ventoso nos encontramos que las plantas tienen mayores necesidades de agua que en un clima nublado, frío húmedo y sin viento.

El tipo de cultivo y fase desarrollo; las necesidades de agua de acuerdo al tipo de cultivo se ven influenciadas por su fase de desarrollo y características propias de la planta (profundidades de raíz, época de fructificación, etc.).

Para la determinación de la evapotranspiración potencial de los cultivos se siguen varios métodos conocidos como lo son el del Tanque evaporímetro tipo "A", el de Blaney-Criddle, Jensen-Haise, Penman, Thornwhaite, etc. Pero por su complejidad para ser entendidos en el medio agrícola los últimos señalados que son en base de formulas, en nuestro caso utilizaremos el de Blaney-Criddle ya que la información del clima son únicas como el caso de la temperatura, porcentaje de horas luz para la determinación de la demanda de agua.

Para compensar la cantidad de agua demandada por la planta se ajusta con el coeficiente de cultivo "Kc" como se observa en la siguiente tabla.

Tabla 21. Coeficiente de cultivo, Kc para el pasto

Cultivo	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Pasto	0.48	0.6	0.75	0.85	0.87	0.9	0.9	0.87	0.85	0.8	0.65	0.6

Para la determinación de ETp también se necesita la información del clima.

Estación climatológica: Saltillo, Coahuila

Altitud: 1589 msnm.

Latitud: 25° N

Longitud: 101°

Tabla 22. Temperatura y precipitación de Saltillo.

MES	Temperatura, °C			Precipitación mm
	Mínima	Máxima	Promedio	
Enero	5	19.7	12.35	12.00
Febrero	5.7	20.7	13.20	16.75
Marzo	10	25.7	17.85	12.75
Abril	12.5	28.1	20.30	25.50
Mayo	15.2	29.9	22.55	27.75
Junio	16.2	30.1	23.15	56.50
Julio	16.4	29.4	22.90	67.00
Agosto	15.8	28.8	22.30	129.50
Septiembre	14.6	26.5	20.55	63.90
Octubre	11.8	24.7	18.25	33.25
Noviembre	8.1	22.2	15.15	44.75
Diciembre	6	20.2	13.10	25.95

La temperatura y precipitación del lugar en cuestión es para llevarlo a cabo en el método Blaney – Criddle.

Tabla 23. Determinación de la ETp con Blaney & Criddle y lamina de riego.

Mes	Duración Mes	T° C	$(T+17.8)/21.8$	P (%)	f (cm)	Kt
Enero	1	12.4	1.383	7.51	10.39	0.62
Febrero	1	13.2	1.422	7.13	10.13	0.65
Marzo	1	17.9	1.635	8.34	13.64	0.80
Abril	1	20.3	1.748	8.62	15.07	0.87
Mayo	1	22.6	1.851	9.34	17.29	0.94
Junio	1	23.2	1.878	9.25	17.38	0.96
Julio	1	22.9	1.867	9.45	17.65	0.95
Agosto	1	22.3	1.839	9.09	16.72	0.93
Septiembre	1	20.6	1.759	8.30	14.61	0.88
Octubre	1	18.3	1.654	8.07	13.35	0.81
Noviembre	1	15.2	1.511	7.38	11.16	0.71
Diciembre	1	13.1	1.417	7.39	10.47	0.65
sumatorias					167.85	

Continuación de la Tabla 4.6.

Eto	Kc	Etc`	ETc (cm)	ETc (mm/día)	lr, día	lr aj	LR, mm/día	Tr, h/día	Tr,min
6.49	0.48	3.11	3.47	1.12	8.89	8	0.14	0.00999	0.60
6.59	0.6	3.96	4.41	1.57	6.32	6	0.26	0.01873	1.12
10.85	0.75	8.14	9.06	2.92	3.40	3	0.97	0.06957	4.17
13.14	0.85	11.17	12.43	4.14	2.40	2	2.07	0.14801	8.88
16.29	0.87	14.17	15.78	5.09	1.95	2	2.54	0.18178	10.91
16.69	0.9	15.02	16.73	5.58	1.78	2	2.79	0.19913	11.95
16.82	0.9	15.13	16.85	5.44	1.83	2	2.72	0.19413	11.65
15.61	0.87	13.58	15.13	4.88	2.04	2	2.44	0.17426	10.46
12.85	0.85	10.92	12.16	4.05	2.45	2	2.03	0.14477	8.69
10.79	0.8	8.63	9.61	3.10	3.21	3	1.03	0.07379	4.43
7.94	0.65	5.16	5.75	1.92	5.19	5	0.38	0.02737	1.64
6.78	0.6	4.07	4.53	1.46	6.81	6	0.24	0.01740	1.04

Ahora de acuerdo con la lamina de riego (Lr) que se obtiene de la textura del suelo, la humedad del suelo y la densidad. Por ello se genera la decisión del aspersor a utilizar.

Tabla 24. Característica del aspersor.

DATOS DEL ASPERSOR	
Método	Aspersión
Modelo	5000_RAIN CURTAIN, ESTANDAR
No. Boquilla	#6
Radio de mojado, m	13.2
Caudal, m ³ /h	1.21
Presión de operación, mca	25
Espaciamiento de aspersores, m	10
Espaciamiento de laterales, m	10

4.1.2 Diseño hidráulico.

El diseño hidráulico es el resultado del diseño agronómico, básicamente son las características hidráulicas y de operación del sistema de riego.

El cálculo hidráulico nos lleva a la determinación de la pérdida de carga o también llamado pérdida por fricción. La pérdida de carga es la relación que existe del caudal y longitud entre el diámetro el cual conduce el agua y cierta fricción que surge de la rugosidad del material que la conduce.

La determinación de la pérdida de carga se llevó a cabo con la ecuación de Hazen – Williams una ecuación que los irrigadores.

Para llevar a cabo las pérdidas de carga en las líneas regantes y secundarias donde se acepta como máximo nada mas el 20% de pérdida de carga. Por ello se da a conocer las secciones y línea principal y de conducción en el apéndice A.

Para saber la capacidad de la bomba se necesita la carga dinámica total (CDT ó TDH) el gasto requerido (Q) y la eficiencia requerida de la bomba. La carga dinámica total se considera los diferentes obstáculos o elementos como las pérdidas en válvulas seccionadoras, la pérdida de carga, la diferencia de altura (o carga estática).

Para llevar a cabo la determinación de la bomba hay una solución importante para determinarla adecuadamente, debemos tomar la sección de riego más alejada de la caseta de bombeo o la más alta con respecto a la caseta de bombeo; en la Tabla 4.8 se muestra la determinación de la bomba para desarrollar la carga dinámica total (CDT) requerida para presurizar el agua en la sección más alejada. Sin embargo, se selecciona la bomba con la potencia encontrada para presurizar la sección crítica más elevada como lo indica el análisis mostrado en la Tabla 4.9

Tabla 25. Análisis hidráulico para la sección más alejada.

Long. Succión	1.5	m
Elevación	-27	m
presión de operación aspersor	24.5	mca
hft critico	22.066	mca
hf válvula	2.82	mca
CDT	23.886	mca
Q	32	LPS
EFF	70	%
HP	13.76	HP
HP comercial	15	HP
kVA	17.25	kVA
Energía comercial	20	kVA

Como se mencionó antes, la otra parte en la determinación de la bomba es considerar la diferencia de altura desde la bomba hasta la sección más alta para revisar el gradiente hidráulico en comparación a las secciones más alejadas examinando la pérdida de carga, la diferencia de carga estática y la presión de los aspersores.

Tabla 26. Análisis hidráulico para la sección más elevada.

Long. Succión	1.5	m
Elevación	20	m
presión de operación aspersor	24.5	mca
hft crítico	8.321	mca
hf válvula	2.82	mca
CDT	57.141	mca
Q	32	LPS
EFF	70	%
HP	32.08	HP
HP comercial	40	HP
kVA	50	kVA

Ahora para llevar a cabo una buena selección de la bomba siempre recurrimos a la determinación de la misma de acuerdo a la curva del impelente buscando el punto de operación Q versus CDT siempre en el lado derecho de la curva de máxima eficiencia para tener una buena selección y mayor tiempo de uso que si seleccionamos del lado izquierdo lo cual el usuario tendría que comprar otra bomba a corto plazo.

Tabla 27. Selección de la bomba (Catalogo de Berkeley y Valsi).

FORMATO DE SELECCIÓN DE BOMBAS		
Q DISEÑO	507.2	GPM
CARGA	187	PIES

No.	CANTIDAD	DESCRIPCION	MODELO	EFICIENCIA, %	Qe, GPM	H	RPM
1	1	BERKELEY	B3JPBM	70,I	510	180	1800
2	1	BERKELEY	B3ERBL	75,D	510	210	...
3	1	VALSI	08X3G	76	507.2	60	3500

HP t	HP real	HP SELECT	SUCCION	DESCARGA	CARACTERÍSTICA
32.5	35-40	40	4 NTP	3 NTP	Motor Drive
32.5		40	4 NTP	3 NTP	Coupling Drive
32.5		40	4 NTP	3 NTP, Vertical	08X3ME30G/08X3BME30G

El sistema de riego por aspersión será automatizado con programadores marca Rain Bird modelo DIALOG+ (Programador modular de 8 estaciones ampliable hasta 48 estaciones) cuenta con electroválvulas Serie PEB modelo 300-BPE como se indica en la Tabla 4.11.

Tabla 28. Selección de Electroválvula (Rain Bird).

SERIE PEB/BPE	
Modelo	300-BPE
APLICACIONES	
Campo de deporte	x
Parques	x
ESPECIFICACIONES	
Entrada/Salida	3" (80/90)
Caudal (m³/h)	13.62 a 68.1
Presión de funcionamiento (Bar)	1.4 a 13.8
CONFIGURACIÓN	
Hembra	x
Línea	x
CARACTERISTICAS	
Dispositivo depurador	300-BPES
Regulador de caudal	x
PRS-Dial opcional	x
Solenoides 24 V	x
Utilizada con agua residual	x

La selección del programador se hace por el número de salidas y qué tipo de programador se necesita, esto de acuerdo a las características. En el caso de DIALOG+ (Programador modular de 8 estaciones ampliable hasta 48 estaciones). Este programador está destinado al riego automático de parques, espacios verdes y campos de deportes. La modularidad le permitirá elegir un amplio número de estaciones (Catalogo de Rain Bird).

El listado de material requerido para llevar a cabo la instalación del sistema de riego se presenta en el APENDICE A.

CONCLUSIONES

La ampliación del Gran Bosque Urbano es una de las obras que pueden dar a la sociedad una forma de vida adecuada y respetuosa.

El diseño de sistema de riego por aspersión tipo fijo estacionario automatizado, se desarrolló con el propósito (1) ofrecer a los cultivos el agua necesaria de acuerdo a su demanda en el tiempo oportuno y (2) tiene un costo mínimo en la mano de obra. Las características se dan a continuación:

1. El proyecto de diseño e instalación de un sistema de riego por aspersión en el Gran Bosque Urbano, Saltillo, Coahuila. Se constituye por el aspersor tipo difusor, modelo 5000_Rain Curtain Estándar, el número de boquilla #6, tiene un gasto de 1.21 m³/h, con una presión de operación de 25 mca. con una separación entre aspersores y laterales de 10m. En el sistema se usará 2,765 tramos de tubo PVC de 1" RD 26 (160 psi) con extremo acampanado, en la parte de las secundarias son 470 tramos de tubo PVC de 3" y 342 tramos de tubo PVC de 4" RD 41 (100 psi) con extremo acampanado; en línea principal y conducción (exclusivo de 8") tubería de 4" con 46 tramos, 6" con 87 tramos y 8" cuenta con 106 tramos; el sistema cuenta con 35 electroválvulas de 3" marca Rain Bird modelo 300-BPE, por lo tanto, el sistema de riego está automatizado por dos programadores marca Rain Bird .
2. La línea de conducción y la principal siempre conducirán 32 LPS ya que se regarán dos secciones cada tiempo de riego ubicadas en diferentes partes.
3. La capacidad de la bomba es 40 HP Marca Valsi, Modelo 08X3G requiriendo una subestación eléctrica con transformador de 50 kVA equipada con tablero de control y relevador.

Recomendaciones para el manejo del riego por aspersión.

1. No regar con aguas salinas, ya que pueden producir fitotoxicidad en la parte aérea del cultivo.
2. No regar con viento alto, ya que la uniformidad de distribución del agua aplicada disminuye considerablemente con el viento. Además, con altas velocidades de viento, aumenta el porcentaje de pérdidas por evaporación y arrastre (cantidad de agua que sale de los emisores pero no llega a la superficie de la parcela al evaporarse o ser arrastrada por el viento).
3. Aplicación de riegos nocturnos. El regar por la noche disminuye el valor de las pérdidas por evaporación y arrastre ya que la velocidad del viento y la temperatura del aire es menor que por el día. Para realizar riegos nocturnos, lo más adecuado es automatizar el riego en la parcela.
4. Realizar un mantenimiento adecuado de todos los elementos de la instalación. En muchas ocasiones la falta de uniformidad de sistemas de riego por aspersión es debida a: emisores obturados o rotos, descensos de presión debidos a falta de limpieza en los filtros, etc.
5. Evitar limitaciones en el funcionamiento de la red de riego por aspersión. Cuando se instale un sistema de riego por aspersión, el regante debe estar informado de las limitaciones de manejo que tiene la red diseñada en su parcela. En ocasiones, un intento de ahorro económico en la instalación, disminuyendo el diámetro de las tuberías o aumentando los marcos de riego de los aspersores, puede condicionar a la larga el manejo que el regante vaya a hacer.

BIBLIOGRAFIA

- Arteaga Tovar R. E., 1993. Hidráulica Elemental. 1ª Edición. UACH. Departamento de Irrigación.
- Balarezo, M., R. Cálculo y Diseño de un Sistema de Bombeo de una Red de Riego por Aspersión para el Campus Prosperina "Gustavo Galindo" Sección Ingenierías". Tesis. Escuela superior Politécnica del Litoral. 1997.
- Bastías, C., E. A. Efecto del riego con aguas servidas tratadas en especies vegetales ornamentales. Tesis. Universidad de Chile. Escuela de Ciencias Forestales. Santiago, Chile. 2004.
- Cisneros, R., A. Apuntes de la materia de Riego y Drenaje. Centro de investigación y estudios de Posgrado y área agrogeodésica. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Fuentes, Y. J. L. 2003. Técnicas de riego., Ediciones Mundi-Prensa., Madrid España. Pp. 281-315.
- García, I. C. y Briones, G. S. 1997. Sistemas de riego por aspersión y goteo. Editorial Trillas, S. A. de C.V., México. Pp. 172-184.
- Guerrero, Mothelet, V. De cómo se rescató un bosque. Revista ¿Cómo ves? Pp. 10-15.
- Holzapfel, E. A., ET all. Análisis técnico-económico para selección de aspersores. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Vol. 11, n. 6. Pp 557 – 563. 2007.
- Hunter, Los innovadores del Riego. Manual de Diseño para el Sistema de Riego Residencial. Una introducción Paso a Paso al Diseño e Instalación. Marzo 2006.
- Martínez, Fco. J. Introducción al Riego. Editorial Universidad Politécnica de Valencia, 2001.
- Mateos, B., Isaac, ET all. Automatización de bombas para un campo de Golf por PLC. Tesis. Escuela Superior de Ingeniería, Mecánica y Eléctrica. Marzo 2007.
- Palacios, L. O. Diseño económico de redes de distribución de agua a presión por el método del algoritmo genético. Tesis. Universidad Técnica Particular de Loja.
- Peralta, A., J. M. y Simpfendörfer, Christian. Riego por aspersión. Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA-Carillanca. Febrero 2001.
- Rain Bird Sprinkler. Landscape Irrigation Design Manual. Rain Bird. Marzo 2001. p 140.
- Revilla, F. A. Riego por aspersión. Servicio de Formación Agraria e Iniciativas. Junta de Castilla y León. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola INEA. Pp. 7- 26.

Secretaria del Medio Ambiente. Bosques urbanos y educación ambiental. Ciudad de México Capital en movimiento.

Sistemas Hidroneumáticos C.A. Manual de procedimiento para el cálculo y selección de sistemas de bombeo.

Vinilit. Cálculo hidráulico. Catalogo Línea Presión.

www.inta.gov.ar/.../ARTICULO%20RIEGO%20PRESURIZADO.pdf

www.fagro.edu.uy/~hidrologia/riego/Teorico%20%20Aspersion.ppt

Sistema de riego.-Anejo IV. Sistema de riego.-Álvaro Mora Navas.

www.uclm.es/area/ing_rural/Proyectos/.../7P-AnejoIV-Riego.pdf

Instalación de riego por goteo en una parcela de maíz. Anejo X diseño hidráulico

www.uclm.es/area/ing_rural/Proyectos/.../12-AnejoX.pdf

Perdida de carga y factor de christiansen.

www.juntadeandalucia.es/.../RIEGO%20UD3.%202. %20Pérdidas%20de%20carga.doc

Sistemas de riego (<http://www.rregar.com/index.php?/table/riego-por-aspersion/index.html>)

APENDICE A

Resultados de los cálculos de pérdida por fricción en las diferentes secciones.

SECCION C1,1	TRAMO	LONG (m)	GASTO (LPS)	DIAMETRO (pulg)	COEF. C	CSM	Hf (mca)
T PRINCIPAL	A-C	319	32	8	150	0.351	1.30
T SECUND		78	7	3	150	0.351	0.86
T LATERAL		20	1.01	1	150	0.351	1.71

SECCION C1,2	TRAMO	LONG (m)	GASTO (LPS)	DIAMETRO (pulg)	COEF. C	CSM	Hf (mca)
T PRINCIPAL	A-F	410	32	8	150	0.351	1.67
T SECUND		55	6	3	150	0.351	0.52
T LATERAL		30	1.34	1	150	0.351	3.96

SECCION C1,3	TRAMO	LONG (m)	GASTO (LPS)	DIAMETRO (pulg)	COEF. C	CSM	Hf (mca)
T PRINCIPAL	A-I	480	32	8	150	0.351	1.96
T SECUND		55	9	3	150	0.351	0.99
T LATERAL		10	0.67	1	150	0.351	0.49

SECCION C1,4	TRAMO	LONG (m)	GASTO (LPS)	DIAMETRO (pulg)	COEF. C	CSM	Hf (mca)
T PRINCIPAL	A-L	619	32	8	150	0.351	2.52
T SECUND		55	7.4	3	150	0.351	0.73
T LATERAL		30	1.35	1	150	0.351	3.96

SECCION C1,5	TRAMO	LONG (m)	GASTO (LPS)	DIAMETRO (pulg)	COEF. C	CSM	Hf (mca)
T PRINCIPAL	A-1	630.5	32	8	150	0.351	2.57
	1-M	32	32	6	150	0.351	0.53
T SECUND		30	6.22	3	150	0.351	0.35
		30	8.74	4	150	0.351	0.4
T LATERAL		33	1.35	1	150	0.351	4.29

SECCION C1,6	TRAMO	LONG (m)	GASTO (LPS)	DIAMETRO (pulg)	COEF. C	CSM	Hf (mca)
T PRINCIPAL	A-1	630.5	32	8	150	0.351	2.57
	1-N	72	32	6	150	0.351	1.19
T SECUND		24	7	3	150	0.351	0.36
		36	14	4	150	0.351	0.43
T LATERAL		30	1.35	1	150	0.351	3.96

SECCION C1,7	TRAMO	LONG (m)	GASTO (LPS)	DIAMETRO (pulg)	COEF. C	CSM	Hf (mca)
T PRINCIPAL	A-1	630.5	32	8	150	0.351	2.57
	1-O	142	32	6	150	0.351	2.35
T SECUND		30	7	3	150	0.351	0.45
		30	16.5	4	150	0.351	0.48
T LATERAL		30	1.35	1	150	0.351	3.96

SECCION C1,8	TRAMO	LONG (m)	GASTO (LPS)	DIAMETRO (pulg)	COEF. C	CSM	Hf (mca)
T PRINCIPAL	A-1	630.5	32	8	150	0.351	2.57
	1-M	32	32	6	150	0.351	0.53
T SECUND		145	9	3	150	0.351	2.71
T LATERAL		40	1.35	1	150	0.351	5.27

SECCION C1,9	TRAMO	LONG (m)	GASTO (LPS)	DIAMETRO (pulg)	COEF. C	CSM	Hf (mca)
T PRINCIPAL	A-1	630.5	32	8	150	0.351	2.57
	1-N	72	32	6	150	0.351	1.19
T SECUND		145	9	3	150	0.351	1.36
				4			
T LATERAL		40	1.35	1	150	0.351	0.00

SECCION C1,13	TRAMO	LONG (m)	GASTO (LPS)	DIAMETRO (pulg)	COEF. C	CSM	Hf (mca)
T PRINCIPAL	A-1	630.5	32	8	150	0.351	2.57
	1-P	266	32	6	150	0.351	4.40
T SECUND		30	6	3	150	0.351	0.34
		42	16	4	150	0.351	0.61
T LATERAL		35	1.35	1	150	0.351	4.62

SECCION C1,14	TRAMO	LONG (m)	GASTO (LPS)	DIAMETRO (pulg)	COEF. C	CSM	Hf (mca)
T PRINCIPAL	A-1	630.5	32	8	150	0.351	2.57
	1-R	336	32	6	150	0.351	5.57
T SECUND		30	8	3	150	0.351	0.48
		42	18	4	150	0.351	0.82
T LATERAL		35	1.35	1	150	0.351	4.60

SECCION C1,15	TRAMO	LONG (m)	GASTO (LPS)	DIAMETRO (pulg)	COEF. C	CSM	Hf (mca)
T PRINCIPAL	A-1	630.5	32	8	150	0.351	2.57
	1-Q	317.5	32	6	150	0.351	5.26
T SECUND		48	8.65	3	150	0.351	0.89
T LATERAL		25	1	1	150	0.351	2.14

SECCION C1,16	TRAMO	LONG (m)	GASTO (LPS)	DIAMETRO (pulg)	COEF. C	CSM	Hf (mca)
T PRINCIPAL	A-1	630.5	32	8	150	0.351	2.57
	1-S	426.5	32	6	150	0.351	7.06
T SECUND		35	5.4	3	150	0.351	0.29
T LATERAL		25	1	1	150	0.351	2.14

SECCION C1,17	TRAMO	LONG (m)	GASTO (LPS)	DIAMETRO (pulg)	COEF. C	CSM	Hf (mca)
T PRINCIPAL	A-1	630.5	32	8	150	0.351	2.57
	1*-2	518	32	6	150	0.351	8.58
	2-T	70.5	16	4	150	0.351	2.33
T SECUND		62	12	3	150	0.351	2.03
T LATERAL		35	1	1	150	0.351	3.00

SECCION C1,18	TRAMO	LONG (m)	GASTO (LPS)	DIAMETRO (pulg)	COEF. C	CSM	Hf (mca)
T PRINCIPAL	A-1	630.5	32	8	150	0.351	2.57
	1*-2	518	32	6	150	0.351	8.58
	2-U	100.5	16	4	150	0.351	3.32
T SECUND		78	14.62	3	150	0.351	3.45
T LATERAL		35	1	1	150	0.351	4.62

SECCION C1,19	TRAMO	LONG (m)	GASTO (LPS)	DIAMETRO (pulg)	COEF. C	CSM	Hf (mca)
T PRINCIPAL	A-1	630.5	32	8	150	0.351	2.57
	1*-2	518	32	6	150	0.351	8.58
	2-V	130.5	16	4	150	0.351	4.31
T SECUND		62	13.00	3	150	0.351	2.19
T LATERAL		25	1	1	150	0.351	2.14

SECCION C1,20	TRAMO	LONG (m)	GASTO (LPS)	DIAMETRO (pulg)	COEF. C	CSM	Hf (mca)
T PRINCIPAL	A-1	630.5	32	8	150	0.351	2.57
	1*-2	518	32	6	150	0.351	8.58
	2-W	160.5	16	4	150	0.351	5.30
T SECUND		68	13.00	3	150	0.351	2.52
T LATERAL		25	1	1	150	0.351	2.14

SECCION C1,21	TRAMO	LONG (m)	GASTO (LPS)	DIAMETRO (pulg)	COEF. C	CSM	Hf (mca)
T PRINCIPAL	A-1	630.5	32	8	150	0.351	2.57
	1*-2	518	32	6	150	0.351	8.58
	2-X	190.5	16	4	150	0.351	6.29
T SECUND		52	11.00	3	150	0.351	1.30
T LATERAL		25	1	1	150	0.351	2.14

SECCION C1,22	TRAMO	LONG (m)	GASTO (LPS)	DIAMETRO (pulg)	COEF. C	CSM	Hf (mca)
T PRINCIPAL	A-1	630.5	32	8	150	0.351	2.57
	1*-2	518	32	6	150	0.351	8.58
	2-Y	220.5	16	4	150	0.351	7.28
T SECUND		70	7.70	3	150	0.351	0.95
		64	18.5	4	150	0.351	1.14
T LATERAL		25	1	1	150	0.351	2.14

SECCION C1,23	TRAMO	LONG (m)	GASTO (LPS)	DIAMETRO (pulg)	COEF. C	CSM	Hf (mca)
T PRINCIPAL	A-1	630.5	32	8	150	0.351	2.57
	1*-2	518	32	6	150	0.351	8.58
	2-Z	270.5	16	4	150	0.351	8.94
T SECUND		68	7.00	3	150	0.351	0.83
		42	13	4	150	0.351	0.41
T LATERAL		25	1	1	150	0.351	2.14

SECCION C2,1	TRAMO	LONG (m)	GASTO (LPS)	DIAMETRO (pulg)	COEF. C	CSM	Hf (mca)
T PRINCIPAL	A-B	293	32	8	150	0.351	1.19
T SECUND		84	8.00	3	150	0.351	1.26
T LATERAL		30	1.34	1	150	0.351	3.96
		24	2.02	2	150	0.351	0.31

SECCION C2,2	TRAMO	LONG (m)	GASTO (LPS)	DIAMETRO (pulg)	COEF. C	CSM	Hf (mca)
T PRINCIPAL	A-B	293	32	8	150	0.351	1.19
T SECUND		70	7.00	3	150	0.351	0.82
		124	12	4	150	0.351	2.54
T LATERAL		44	1	1	150	0.351	3.77
		6	1.68	2	150	0.351	0.05

SECCION C2,3	TRAMO	LONG (m)	GASTO (LPS)	DIAMETRO (pulg)	COEF. C	CSM	Hf (mca)
T PRINCIPAL	A-C	319	32	8	150	0.351	1.30
T SECUND		80	7.00	3	150	0.351	0.84
		144	17	4	150	0.351	1.96
T LATERAL		20	1	1	150	0.351	1.71

SECCION C2,4	TRAMO	LONG (m)	GASTO (LPS)	DIAMETRO (pulg)	COEF. C	CSM	Hf (mca)
T PRINCIPAL	A-D	350	32	8	150	0.351	1.43
T SECUND		60	7.00	3	150	0.351	0.71
T LATERAL		15	1	1	150	0.351	1.28

SECCION C2,5	TRAMO	LONG (m)	GASTO (LPS)	DIAMETRO (pulg)	COEF. C	CSM	Hf (mca)
T PRINCIPAL	A-D	350	32	8	150	0.351	1.43
T SECUND		60	5.50	3	150	0.351	0.44
		174	17	4	150	0.351	1.25
T LATERAL		20	1	1	150	0.351	1.71

SECCION C2,6	TRAMO	LONG (m)	GASTO (LPS)	DIAMETRO (pulg)	COEF. C	CSM	Hf (mca)
T PRINCIPAL	A-E	380	32	8	150	0.351	1.55
T SECUND		70	7.00	3	150	0.351	0.79
		90	17	4	150	0.351	1.25
T LATERAL		20	1	1	150	0.351	1.71

SECCION C2,7	TRAMO	LONG (m)	GASTO (LPS)	DIAMETRO (pulg)	COEF. C	CSM	Hf (mca)
T PRINCIPAL	A-G	420	32	8	150	0.351	1.71
T SECUND		100	9.00	3	150	0.351	1.87
		32	22	4	150	0.351	0.71
T LATERAL		30	1.35	1	150	0.351	3.96

SECCION C2,8	TRAMO	LONG (m)	GASTO (LPS)	DIAMETRO (pulg)	COEF. C	CSM	Hf (mca)
T PRINCIPAL	A-H	460	32	8	150	0.351	1.88
T SECUND		80	9.00	3	150	0.351	1.46
		70	21	4	150	0.351	1.77
T LATERAL		30	1.35	1	150	0.351	3.96

SECCION C2,9	TRAMO	LONG (m)	GASTO (LPS)	DIAMETRO (pulg)	COEF. C	CSM	Hf (mca)
T PRINCIPAL	A-J	495	32	8	150	0.351	2.02
T SECUND		80	8.00	3	150	0.351	1.24
		66	20	4	150	0.351	1.34
T LATERAL		25	1.01	1	150	0.351	2.14

SECCION C2,10	TRAMO	LONG (m)	GASTO (LPS)	DIAMETRO (pulg)	COEF. C	CSM	Hf (mca)
T PRINCIPAL	A-K	535	32	8	150	0.351	2.18
T SECUND		70	9.25	3	150	0.351	1.32
T LATERAL		25	1.01	1	150	0.351	2.14

SECCION C2,11	TRAMO	LONG (m)	GASTO (LPS)	DIAMETRO (pulg)	COEF. C	CSM	Hf (mca)
T PRINCIPAL	A-K	535	32	8	150	0.351	2.18
T SECUND		60	10.00	3	150	0.351	1.45
T LATERAL		20	1.00	1	150	0.351	1.71
		30	0.67	2	150	0.351	0.05

SECCION C2,12	TRAMO	LONG (m)	GASTO (LPS)	DIAMETRO (pulg)	COEF. C	CSM	Hf (mca)
T PRINCIPAL	A-L	619	32	8	150	0.351	2.52
T SECUND		60	16.00	3	150	0.351	3.37
T LATERAL		35	1.35	1	150	0.351	4.62

SECCION C2,13	TRAMO	LONG (m)	GASTO (LPS)	DIAMETRO (pulg)	COEF. C	CSM	Hf (mca)
T PRINCIPAL	A-1	630.5	32	8	150	0.351	2.57
	1-O	142	32	6	150	0.351	2.35
T SECUND		40	8.00	3	150	0.351	0.76
		27	14	4	150	0.351	0.32
T LATERAL		35	1.35	1	150	0.351	4.62

LISTA DE MATERIALES

CLIENTE: Gran Bosque Urbano **Fecha:** _____
SISTEMA DE RIEGO: Aspersión
CULTIVO: Pasto y árboles para jardinería

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
Cárcamo de Bombeo				
Filtro aluminio 8"	1	Pieza		
Válvula de pie VALMEX	1	Pieza		
Tubo Fofo 8"	1	Tramo		
Codo Fofo 8" x 90°	1	Pieza		
Brida fierro 8"	7	Pieza		
Brida PVC 8"	5	Pieza		
Empaque neupreno 8"	10	Pieza		
Empaque neupreno 4"	1	Pieza		
Empaque neupreno 3"	1	Pieza		
Reducción excéntrica 8"x 4"	1	Pieza		
Ampliacion concéntrica 3"x8"	1	Pieza		
Codo PVC 8"x90° C10	1	Pieza		
Tee PVC 8"x 2" Metric.	2	Pieza		
Adaptador H. PVC 2" cem	1	Pieza		
Válvula adm. Y exp. Aire PVC	1	Pieza		
Válvula mariposa de palanca PVC 8"	1	Pieza		
Manómetro Senninger 0 a 60 psi	1	Pieza		
Codo PVC 8"x 45° C10	2	Pieza		

Válvula de retención PVC brida 8"	1	Pieza		
Flujómetro 8" bridado	1	Pieza		
Adaptador M. PVC 2" cem.	1	Pieza		
Válvula de presión alum. 2"	1	Pieza		
Bomba centrifuga marca VALSI modelo 08X3G 40HP	1	Pieza		
Conexión de válvulas de tubería principal a secundaria				
Silleta de aluminio 8" x 3" rosca H.	12	Pieza		
Silleta de aluminio 6" x 3" rosca H.	10	Pieza		
Silleta de aluminio 4" x 3" rosca H.	8	Pieza		
Adaptador M. PVC 3" cementar	100	Pieza		
Tee PVC 3" cementar	6	Pieza		
Electroválvula Rain Bird 300-BPE 3" R. H.	35	Pieza		
Codo PVC 3"x 90° cementar	80	Pieza		
Codo PVC 4" x 90° cementar	28	Pieza		
Conexión tubería secundaria, regante, aspersor y purga final				
Silleta PVC 4" x 1" cementar	70	Pieza		
Silleta PVC 3"x 1" cementar	300	Pieza		
Codo PVC 1"x90° cementar	180	Pieza		
Tee PVC 1" cementar	200	Pieza		
Silleta PVC 1" cementar	1800	Pieza		
Reducción bushing PVC 1"x3/4" cem-r. H.	1800	Pieza		
Cople PVC 3/4" x 1/2" r. M.-Inserción	1800	Pieza		
Codo PVC 1/2" r. M.-Inserción	1800	Pieza		
Aspersor Rain Bird	1800	Pieza		
Codo PVC 3"x 90° cementar	42	Pieza		
Tee PVC 3"x2" cementar	42	Pieza		
Codo PVC 2"x90° cementar	42	Pieza		
Reducción bushing PVC 2" x 1" cem.- r. H.	42	Pieza		
Válvula expulsora de aire PVC 1"	42	Pieza		
Adaptador macho PVC 1"	42	Pieza		
Tapón PVC 3" rosca Hembra	42	Pieza		
Tapón PVC 1" cementar	380	Pieza		
Tubería principal, secundario y regante				
Tubo PVC 1" RD 26 cementar	2765	Tramo		
Tubo PVC 2" RD 26 campana	13	Tramo		
Tubo PVC 3" RD 41 campana	470	Tramo		
Tubo PVC 4" RD 41 campana	442	Tramo		
Tubo PVC 4" C5 campana	46	Tramo		
Tubo PVC 6" C5 campana	88	Tramo		
Tubo PVC 8" C5 campana	106	Tramo		

APENDICE B

Instalación del sistema de riego por aspersión en el Gran Bosque Urbano, Saltillo, Coahuila.

