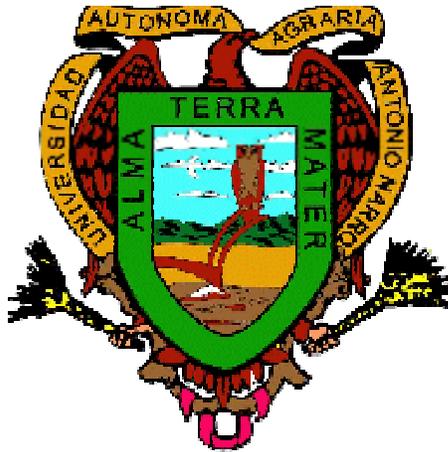


**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE**



**Diseño e Instalación de un Sistema de Riego Automatizado en Nogal
(*Juglans carya*)**

POR

ABELINA ROLDAN MAQUEDA

**TESIS PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL
TITULO DE**

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Buenavista, Saltillo, Coahuila a Diciembre del 2002.

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

**DIVISION DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE**

Diseño E Instalación de un Sistema de Riego Automatizado en el Nogal (*Junglans Carya*)

POR

ABELINA ROLDAN MAQUEDA

TESIS

**QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO DE:**

INGENIERO AGRONOMO EN IRRIGACION

Ing. Fernando Augusto Villareal Reyna
Asesor principal

Ing. Carlos Rojas Peña.
Coasesor

M.C. Lindolfo Rojas Peña.
Coasesor

M.C. Gregorio Briones Sánchez.
Coasesor

M.C Luis Edmundo Ramirez Ramos.
Coordinador de la división de ingeniería.

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México a Diciembre del 2002

INDICE DE CONTENIDO	Pag.
INDICE DE TABLAS.....	5
INDICE DE FIGURAS.....	6
INTRODUCCIÓN.....	10
Objetivos.....	12
Hipótesis.....	12
.....	
1. REVISIÓN DE LITERATURA.....	13
1.1 Origen del nogal.....	13
1.1.1 Clasificación botánica.....	13
1.1.2 Descripción botánica.....	14
a) Raíz.....	14
b) Tronco y ramas.....	15
c) Follaje.....	15
d) Flores.....	15
e) Fruto.....	15
1.2 Riego.....	15
a) Transpiración.....	17
b) Evaporación.....	17
c) Evapotranspiración.....	17
d) Tanque evaporó metro tipo A.....	17
1.3 Infiltración.....	18
1.3.1 Descripción del proceso de infiltración.....	19
1.3.2 Método para medir la infiltración.....	19
1.4 Coeficiente de uniformidad en un sistema de riego.....	21
1.5 Componentes que integran un sistema de riego.....	22
1.6 Diseño de un sistema de riego.....	26
1.6.1 La automatización de los sistemas de riego.....	27
1.6.2 Niveles de automatización.....	27
1.6.3 Parámetros de control.....	29
1.6.4 Modo de operación.....	29
1.6.5 Automatismo hidráulico.....	30
1.6.5.1 Nivel de automatización.....	31
1.6.6 Automatismo eléctrico.....	33
1.6.6.1 Nivel de automatización.....	34
1.6.7 Automatismo por microcomputadores.....	34
1.7 Trazado de las subunidades de riego.....	35
1.7.1 Diseño de las subunidades de riego.....	36
1.8 Normas y criterios de diseño e instalación.....	36
1.8.1 Aspectos hidráulicos de los sistemas de riego.....	37
1.8.2 Métodos de cálculo.....	38
2. MATERIALES Y METODOS.....	39
2.1 Prueba de calibración.....	40
2.3 Procedimiento para el calculo de la prueba de infiltración...	45

2.3.1 Valores de infiltración obtenidos en el campo, hasta llegar a la infiltración básica.....	46
2.4 Evapotranspiración calculada de la región.....	49
2.5 Coeficiente de uniformidad de Christiansen.....	49
2.6 Forma de determinación del costo de la energía eléctrica....	51
2.7 Diseño de riego por burbujeador.....	51
2.7.1 Pérdida de carga en línea de conducción y lateral.....	52
2.7.2 Fórmula para la determinación de la potencia de la bomba.....	52
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	54
4. CONCLUSIONES.....	63
5. RECOMENDACIONES.....	64
BIBLIOGRAFÍA.....	65
6. APÉNDICE.....	67

INDICE DE TABLAS

Tablas	Pag.
2.1 Datos obtenidos de la prueba de infiltración en un suelo arcilloso.....	46
2.2 Datos obtenidos de la prueba de infiltración en un suelo arcillo – arenoso.....	47
2.3 Datos obtenidos de la prueba de infiltración en un suelo arenoso...	48
2.4 Gastos de los burbujeadores en litros por hora (lph)para el calculo de coeficiente de uniformidad.....	50
2.5 Materiales propios de la obra.....	52
3.1 Datos de la calibración del burbujeador.....	54
3.2 Resultados ajustados con la ecuación en suelo arcilloso.....	55
3.3 Resultados ajustados con la ecuación en suelo arcilloso-arenoso.....	56
3.4 Resultados ajustados con la ecuación en suelo arenoso.....	57
3.5 Calculo de la evapotranspiración.....	58
3.6 Comparación de costos de la mano de obra antes y después de la instalación del sistema de riego.....	59
3.7 Comparación de costos de la energía eléctrica antes y depuse de la instalación del sistema de riego.....	60

INDICE DE FIGURAS

Fig.	Pag.
2.1 Plano de la huerta de Nogales.....	41
2.1.1 Plano de la línea de conducción principal.....	42
2.1.2 Plano de ubicación de válvulas y cableado.....	43
2.1.3 Sección de la huerta de Nogales.....	44
2.2 Ecuación de regresión ajustada en suelo arcilloso.....	46
2.3 Ecuación de regresión ajustada para suelo arcillo-arenoso.....	47
2.4 Ecuación de regresión ajustada en un suelo arenoso.....	48
2.5 Tanque evaporimetro tipo A.....	49
3.1 Capacidad de infiltración en un suelo arcilloso.....	55
3.2 Capacidad de infiltración en un suelo arcillo- arenoso.....	3.2
3.3 Capacidad de infiltración en un suelo arenoso.....	57
3.4 Bulbo de humedad de un suelo arcilloso.....	61
3.5 Bulbo de humedad de un suelo arenoso.....	61

DEDICATORIA

A MIS PADRES:

Alfredo Roldan Onofre

Y

Avelina Maqueda Mendoza.

A ustedes dedico este logro, gracias por esa confianza que me han brindado, por sus consejos y apoyo, ustedes me han enseñado que lo importante no es caer sino levantarse, tengo tanto que agradecerles que creo que ni con todas las palabras del mundo lo aria, pero simplemente les diré gracias por todo lo que han hecho por mi, los amo.

A MIS HERMANOS

Alfredo

Mario

Cecilia

A ustedes por ser los mejores amigos, por ese apoyo que siempre me han brindado a pesar de ser los mas chicos han hecho mucho por mi, gracias por preocuparse por mi y darme ánimos cuando mas lo necesito, solo quiero decirles que ustedes son muy importantes para mi, los quiero mucho.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme el privilegio de vivir y disfrutar cada instante, por darme la oportunidad de alcanzar algunas metas que me e planteado, por eso y mas gracias.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, gracias por recibirme, por los conocimientos aportados y el cobijo que me diste en todo este tiempo.

Al Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología (COECyT), por su apoyo económico que contribuyo a la realización de este trabajo.

Al Ing. Fernando A. Villareal Reyna por darme la oportunidad y confianza para la realización de este trabajo, por su contribución a mi formación profesional.

Al Ing. Carlos Rojas Peña por su contribución a este trabajo, ya que sin su ayuda no hubiera sido posible, gracias por su amistad.

Al Ing. Lindolfo Roja Peña que hizo posible que este trabajo saliera adelante, por su apoyo incondicional.

Al M.C Gregorio Briones por su contribución a mi formación como profesionista y el que este trabajo fuera posible.

A Ing. Jorge Peart agradecerle el que me aya dado la oportunidad de realizar este trabajo en su rancho el cual contribuirá aun desarrollo agrícola mas sustentable.

A la familia Romero Camargo que siempre han sido como mi segunda familia, gracias por todo el apoyo que me han dado por su contribución a mi desarrollo como persona.

A Ma. Guadalupe Godínez Rodríguez, Doña Sara, Daniel, Josefa y a Daniel de Jesús por su amistad y apoyo.

A mis amigos: Norma, Profesor Francisco Esquibel, Justino, Rigoberto, Guillermo Rosales, Guillermo Larios, Fidencio, Macrina, Ángel Arturo, Juan, Alberto, Gloria, Arturo, Héctor, Iván, Francisco, Ángel, Hermelinda, Mariana.

A mis compañeros: Lázaro, Eliezer, Alexis, Lisandro, Octavio, Weyler, Luis Enrique, Luis Manuel, Bernabé, Emilio, Heriberto, Rosa Isela y a todas esas personas que de una u otra forma contribuyeron a mi formación.

A una persona que ocupa un lugar muy especial en mi vida personal gracias Adán por tu paciencia, comprensión, apoyo moral y principalmente por ese gran cariño que me has demostrado tener.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad de las 20 millones de hectáreas que en promedio se cultivan anualmente en México, solo 6 millones son manejadas bajo condiciones de riego, estas generan una producción aproximada al 50% del valor total de la cosecha nacional lo que significa que en las áreas irrigadas la productividad es 2.3 veces la obtenida en las áreas de temporal. Así mismo se precia que la eficiencia media de los riegos a nivel nacional es del 40%, por lo tanto al mejorar la aplicación del agua a nivel parcelario se incrementara el ahorro sustancial del agua y mano de obra, mediante un sistema automatizado.

En las últimas décadas, el desarrollo tecnológico y científico ha permitido crear la infraestructura necesaria para adaptar el riego a las necesidades de los cultivos. El perfeccionamiento de los sistemas de bombeo para dotar el agua a presión, el mejor conocimiento en el consumo del agua, el desarrollo de las técnicas de cultivo y una mejor comprensión del ciclo del agua, han permitido la creación de nuevas técnicas de riego que se han difundido y expandido exitosamente en los últimos 30 años.

Sin embargo una parte importante de los regadíos en México se encuentran en un deficiente estado de conservación, adecuación y nivel tecnológico, debido a la antigüedad de los sistemas, en los que no ha existido mantenimiento. Se estima que los regadíos en México requieren obras de mejora, rehabilitación y modernización de la infraestructura.

En muchas zonas de México la agricultura de secano es considerada como una actividad de bajo ingreso por unidad de superficie para los agricultores, por o que tradicionalmente la agricultura de regadío es una de las mejores alternativa posible para el desarrollo de zonas rurales.

Hoy en día, la agricultura de riego genera una producción final muy superior al del resto de los sistemas agrícolas aún cuando la superficie a regar es muy inferior, esto se debe al uso de las nuevas tecnología como lo es el automatismo, ya que ofrece las siguientes alternativas:

1. Ahorro de agua.
2. Ahorro de energía.
3. Ahorro de mano de obra.
4. Mayor uniformidad en la distribución del agua.
5. Mayor versatilidad y flexibilidad.

Para que un sistema de riego automático funcione adecuadamente debe estar compuesto por varios elementos que deben ser calculados y dimensionados correctamente, estos son:

- Aparatos de riego (aspersores, difusores, goteo, burbugeadores, entre otros).
- Válvulas automáticas.
- Programador.
- Tubería de alimentación y distribución.
- Equipo de bombeo.

El rancho donde se llevo acabó este trabajo cuenta con aproximadamente 11 hectáreas en huerta de nogal, esta se encuentra dividida en 29 secciones donde cada una cuenta con aproximadamente 35 árboles, con una edad promedio entre 6 y 8 años. Este rancho dispone de gasto de 4 lps, anteriormente se regaba con microaspersores que era operado manualmente con válvulas globo, sin embargo uno de los principales problemas que existía era el viento que alcanza velocidades de hasta 20 Km/h, esto provocaba un fuerte desplazamiento de las gotas de agua, otro problema que se tenía era el alto costo de la mano de obra ya que es una extensión grande para que una sola persona estuviera operándola, para resolver esta problemática se planteara los siguientes objetivos.

Objetivo general

- Diseño y construcción de un sistema de riego automatizado en el Nogal (*Junglans Carya*) para esta huerta.
- Lograr un uso más eficiente del agua, así como disminuir los costo de operación del sistema de riego.

Hipótesis.

A través de un sistema localizado automatizado es posible alcanzar un índice de consumo de 0.5 lps / ha en el cultivo del nogal en producción.

1.REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 Origen del nogal

La nuez pecanera es originaria del norte de América, su importancia radica no sólo por el papel que juega en la cocina mexicana, sino por su peso económico que representa en el norte del país al ser generadora de divisas.

La nuez en nuestro País ha seguido un camino bastante interesante, ya que a pesar de presentar un decremento durante los últimos años en relación a la superficie sembrada, en lo que respecta a su superficie cosechada, rendimiento y producción a tenido incrementos notables.

La producción de nuez es prácticamente una actividad de la región norte del país, concentrándose en los estados de Chihuahua, Coahuila, Sonora, Nuevo León y Durango que contribuyen con el 95% de las áreas sembradas y el 90% en la producción. Sin embargo, en los últimos años algunas entidades de centro del país, sobresalen principalmente por sus altos rendimientos en zonas de riego como de temporal, lo que indican experiencias interesantes que tendrían que tomarse en cuenta.

El sector nogalero del Norte del país, es un sector que pertenece básicamente a pequeños propietarios (85%), estos han realizado grandes esfuerzos por mantener sus huertas, aun cuando se han tenido problemas de sequía además de tener problemas de financiamiento, comercialización, organización, entre otros; por lo que al generar apoyos en este rubro es un buen inicio para reorganizar nuestro campo. (www.chileriego.cl)

1.1.1 Clasificación botánica

La clasificación botánica del nogal, es la siguiente:

División ___ Espermatofitas.

Sub.-división ___ Angiosperma.

Clase ___ Dicotiledóneas.

Familia ___ *Juglandaceae*.

Genero ___ *Juglans Regia*

Especie ___ *Juglans regia* (nogal europeo),
Juglans cinerea (nogal ceniciento), *Juglans nigra*
(nogal negro), *Juglans californica* (nogal de
California) *Illinoensis*, *regia*, *gordiformis*, *lacinosis*,
ovalis, *glabra*.

1.1.2 Descripción botánica.

a) Raíz

El nogal presenta una raíz pivotante, que en el primero y segundo año crece en forma vertical más del doble de su follaje, para a partir del tercer año se hace semifibrosa extendiéndose en un radio que se ensancha horizontalmente hasta abarcar un área semejante o mayor a la alcanzada por el follaje. Esto se debe a que principalmente en las capas profundas del suelo no encuentra elementos nutritivos y debido a la compactación del suelo debajo de 1.50 – 2.00 metros de profundidad, impide la fácil respiración de las raicillas, igualmente al encontrar la raíz agua estancada detiene su desarrollo (Mendoza, 1967).

b) Tronco y Ramas.

Un árbol presenta las siguientes características; Árbol vigoroso de 24 a 27 m de alto, su tronco puede alcanzar de 3 a 4 m de diámetro. Copa ramosa, extendida, de forma esférica comprimida, el tronco derecho, esta cubierto con una corteza cenicienta y gruesa, en las ramas jóvenes lisa y de color rojo oscuro y en las viejas agrietada y parda. Por lo general los árboles nativos o silvestres se elevan casi rectos y sus ramificaciones comienzan hasta 10 metros de altura, esta característica diferencia a los árboles nativos y a los árboles injertados, ya que los troncos generalmente son cortos y sus ramificaciones empiezan desde muy abajo.

c) Follaje

Al alcanzar la madurez el follaje es espeso con copa semiredonda, de hojas caedizas, compuestas, empare pinadas, con 5 a 19 foliolos de forma oblonga, lanceoladas y finalmente dentadas. Una longitud de 10 a 17 centímetros. Las hojas del nogal sin injerto tienen vellosidades y son de color verde grisáceas; las de nogal injertado son glabras, es decir carecen de vello con un verde más brillante.

d) Flores.

El árbol es monoico; las flores masculinas dispuestas en amentos colgantes de 6 – 8 cm., de longitud, axilares, que nacen en madera del año anterior de las yemas formadas en la base del crecimiento a lo largo de las ramas.

Las flores nacen en yemas mixtas (hojas y flores) en la punta de la ramita que se desarrolla al crecer el brote en la primavera. Crece en inflorescencia de espiga, suelta de dos a ocho hojas, pegadas a un pedúnculo corto. Son de color verde claro y los pistilos tienen la forma de motita amarilla en la punta al encontrarse maduras.

e) Fruto.

Nuez grande, drupácea, con mesocarpio carnoso y endocarpio duro, arrugado en dos valvas, y el interior dividido incompletamente en dos o cuatro celdas; semilla con dos o cuatro lóbulos y diversos hoyos.

1.2 Riego

El arte de irrigar es tan antiguo como la propia existencia del hombre. Esto lo comprueban las ruinas de obras de riego encontradas en diversas regiones tan distintas unas de otras como; Egipto, India, Irán, China y España. Históricamente las civilizaciones han dependido, para lograr su desarrollo de la agricultura bajo las condiciones de riego; y en muchas de esas áreas hoy en día, la irrigación continua ofreciendo la base agrícola de la sociedad (Israelsen y Hansens, 1967).

El gobierno automático de una estación de bombeo, bien sea de un solo grupo o de varios es un contactor cuyo circuito de bobina se cierra o abre por medio de diferentes clases de aparatos y por causa de diversos parámetros climatológicos (Gómez, 1975).

Existen diversas razones, muy distintas una de otras que en diferentes partes del mundo en relación al desarrollo del automatismo en los sistemas de riego. Quizá una de las mas importantes es la continua elevación de los costos de la mano de obra en muchos países El número de personas para el manejo de una red colectiva de conducción y distribución de agua para el riego, varían según las características de la red, pero si el manejo es puramente manual, es siempre un número muy elevado. Se puede justificar también que el automatismo es la necesidad de ahorrar agua (FAO, 1970).

El riego pretende satisfacer las necesidades hídricas del cultivo, **aplicando el agua uniformemente y de forma eficiente**, es decir que la mayor cantidad de agua aplicada quede en la zona radical a disposición de los cultivos, este ha sido uno de los objetivos que se pueden alcanzar pero sin alterar los nutrientes del suelo y con mínimas inferencias sobre las labores de los cultivos.

El objetivo de los calendarios de riego es poder conocer los momentos más adecuados y la lámina requerida por los cultivos en sus diferentes etapas fisiológicas, para llevar a cavo este objetivo se tienen que comprender los requerimientos hídricos de los cultivos, considerando los factores Clima-Suelo-Planta, quienes controlan las decisiones de la irrigación, esto significa que una vez alcanzada la humedad en la zona radical, se tiene el nivel máximo permisible en su deflexión, indicando el día en que debe de efectuarse el primer riego al cultivo. La profundidad de la lámina de riego deberá estar en función de la profundidad de la zona radical, asegurando el reemplazar la humedad abatida. Los demás riegos son calculados al continuar la proyección del crecimiento radical en el punto que

alcanzo la humedad en la zona radical durante el riego anterior (Van Der. Guilk, P., 2000).

a) Transpiración: Se define como la pérdida de agua del suelo cuando es consumida por medio del sistema radicular de los cultivos y que se eliminan directamente o a través de toda la constitución de la planta (Caballero, 1981).

b) Evaporación: Se considera como la pérdida de agua que ocurre directamente del suelo hacia la atmósfera debido a la acción de la temperatura, este fenómeno afecta al contenido de humedad de los primeros veinte centímetros de profundidad, este proceso ocurre también en algunos casos con el agua que en ocasiones se encuentra en el follaje de la planta (Caballero, 1981).

c) Evapotranspiración(ET): se le llama evapotranspiración a la combinación de la evaporación y transpiración factores que engloban tanto la cantidad de agua que se pierde a través de la planta y la que ocurre directamente del suelo y follaje, existen otras pérdidas de agua durante el riego y que son necesarios para mantener el suelo en equilibrio, lavando el exceso de sales que se encuentran en el suelo, mientras que otros son innecesarios y que se deben evitar para lograr optimizar el uso del agua (Caballero, 1981).

d) Tanque evaporómetro tipo A: Este equipo se compone esencialmente de dos partes, un depósito de agua que consiste en un tanque cilíndrico de lámina galvanizada de 122 cm., de diámetro y 26 cm., de altura, y un dispositivo para medir las variaciones del nivel de agua dentro del depósito (cámara de reposo). El cilindro de reposo, se descansa sobre una base que es una placa triangular con tres tornillos niveladores como puntos de apoyo, tiene en el fondo una perforación que permite la comunicación con el agua del tanque. El evaporómetro cuenta con un tornillo micrométrico colocado sobre el cilindro. El cilindro de reposo debe de quedar horizontal en su arista superior, esto se logra por medio de los tornillos niveladores y un nivel de albañil; el objeto de este cilindro es evitar que lleguen al tornillo micrométrico las pequeñas ondulaciones que produce el viento sobre la superficie del agua.

La graduación del tornillo micrométrico tiene dos divisiones, una marcada sobre una regla graduada en milímetros unida firme y verticalmente a uno de los brazos, que son barras en forma de Y sobre las que se apoya el tornillo micrométrico al colocarlo en el cilindro de reposo para hacer las lecturas; la regla tiene una escala de 0 - a 70 cm. La otra división es un disco graduado en 100 partes iguales, este es colocado en la parte superior del tornillo micrométrico, lo que permite lecturas de evaporación aproximadas hasta un centésimo de milímetro (Torres, 1995).

1.3 Infiltración.

La infiltración es la entrada vertical del agua al suelo, a través de la interfase suelo-atmósfera. Este proceso se realiza a través de gradientes de potencial hídrico y es controlado por la capacidad del suelo para permitir el paso del agua a través de sus poros. La importancia agrícola de la infiltración y de la velocidad con que esta se lleva a cabo, es muy grande. Ya que todas las funciones que el suelo desempeña en beneficio de las plantas, son directa o indirectamente afectadas por la velocidad de infiltración así como por las prácticas culturales que realizan los agricultores.

Los factores que afectan la velocidad de infiltración son:

- 1) El contenido inicial de la humedad del suelo, este se relaciona en forma inversa con la infiltración, es decir, a mayor contenido de humedad, menor velocidad de infiltración.
- 2) La textura del suelo. En general, se puede afirmar que a mayor contenido de arena, mayor velocidad de infiltración.
- 3) Condición de la superficie del suelo. La presencia de costras disminuye la velocidad de infiltración, mientras que la presencia de grietas, la aumenta temporalmente.

- 4) La estratificación del suelo retrasa el avance del frente de mojadura, la cual hace necesario mayor tiempo para alcanzar la velocidad de infiltración básica.
- 5) La calidad de agua aplicada al suelo. Cuando es muy pura o contiene cantidades importantes de sodio, generalmente difluculación y dispersión de coloides del suelo reduce la velocidad de infiltración.

1.3.1 Descripción del proceso de infiltración.

La velocidad de infiltración en un suelo inicialmente seco es variable y disminuye a medida que se incrementa el contenido de humedad, hasta alcanzar un valor final constante y relativamente pequeño, cuando esto se presenta se conoce como velocidad de infiltración básica.

1.3.2 Método para medir la infiltración

Existen diversos métodos de campo y laboratorio para medir la velocidad de entrada de agua a un suelo, bajo condiciones controladas y reproducibles. Dentro de estos métodos, esencialmente consisten en relacionar el volumen de agua que penetra en una superficie conocida del suelo, por una unidad de tiempo. El movimiento de agua en el suelo se puede considerar unidimensional, dimencional o tridimensional.

Para determinar la infiltración de un suelo es necesario introducir los cilindros en el terreno, a una profundidad de 10-25 cms., procurando no modificar la estructura del suelo del cilindro interior, en el cilindro interior se colocara una regla graduada, de tal forma que el cero de la regla coincida con la superficie del suelo. En seguida se toma la hora de inicio y se agrega rápidamente agua al cilindro interior, hasta una altura de 10 cm. En el cilindro exterior es necesario mantener una cantidad determinada de agua.

El anillo exterior sirve para facilitar el mojado del borde del suelo bajo estudio, esto reduce los errores que puedan surgir si un borde de suelo seco provoca el flujo horizontal del agua que penetre en el suelo del cilindro interior.

Generalmente la velocidad de infiltración es máxima al iniciar el ensayo, pero se reduce y tiende a estabilizarse con el tiempo. La humedad inicial del perfil del suelo la afecta. La infiltración cuando más seco este el suelo, mayor será la infiltración. Por eso es útil disponer de valores de infiltración del suelo seco y mojado, hasta llegar a un valor más o menos constante que pueda ser alcanzado, en algunas horas o en ocasiones hasta en algunos días, dependiendo del tipo de suelo; y la humedad en el momento de iniciar la prueba.

Kostiakov, en el año de 1932 citado por Gurovich (1985), fue el primero que propuso el uso de una ecuación empírica, que hasta hoy en día es de amplio uso para analizar los resultados experimentales que se obtienen de las pruebas de infiltración en el campo. Como la velocidad de infiltración comienza generalmente con un valor relativamente alto y decrece con el tiempo, puede ser expresado según Kostiakov, de la siguiente forma:

$$I = Kt^n \quad (1.1)$$
$$-1 < n < 0$$

Donde:

I = Velocidad de infiltración (cm. /hr.)

t = Tiempo (min.)

K = Constante que representa la velocidad de infiltración para t = 1.

n = Pendiente de la curva de velocidad de infiltración con respecto al tiempo.

La infiltración acumulada, se obtiene integrando la ecuación de velocidad de infiltración:

$$D = \int_0^t I_d T \quad (1.2)$$

Donde:

D = infiltración acumulada o lámina de agua acumulada (cm.)

Al remplazando la ecuación 1 y 2 desarrollándola, la infiltración acumulada resulta:

$$D = C T^b \quad (1.3)$$

$1 > b > 0$

Donde:

C = Lámina de agua acumulada en el perfil del suelo cuando T = 1.

b = Pendiente de la curva de infiltración acumulada versus el tiempo.

$$D = f(T)$$

Al comparar esta ecuación con los resultados de las experiencias realizadas bajo condiciones de campo, los datos que se obtienen se ajustan moderadamente bien a las determinaciones prácticas, dado que los parámetros de la ecuación son evaluados a partir de las mediciones experimentales. Los parámetros de las ecuaciones tienen un significado físico particular. Variaciones comparativamente pequeñas de los exponentes con respecto a sus valores reales, producen resultados muy alejados de la realidad; por tal razón es mejor determinar esto en forma analítica, a través de regresión lineal, mediante los logaritmos de los valores de infiltración y tiempo.

1.4 Coeficiente de uniformidad en un sistema de riego.

Coeficiente de uniformidad. Christiansen (1942) citado por García y Briones (1986), fue el primero en aplicar el concepto de medir la uniformidad de la distribución del agua en un sistema de riego por aspersión. Ese concepto de uniformidad es comúnmente llamado coeficiente de uniformidad de Christiansen (UCC), el cual se expresa como:

$$UCC = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})}{n \times Y} \quad (1.4)$$

Donde:

$\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})$ Es la suma del valor de las desviaciones de las observaciones (Y_i) del promedio de la observaciones (\bar{Y}), y n es el número de observaciones.

El coeficiente de uniformidad de Christiansen es ampliamente usado, y un UCC igual o mayor que 0.7 es considerado aceptable en la práctica del diseño del sistema de riego por aspersión.

1.5 Componentes que integran un sistema de riego presurizado.

Los elementos básicos que componen un equipo de riego son:

- ↳ Unidad de bombeo.
- ↳ Cabezal de control
- ↳ Red de tuberías Hidrantes o tomas
- ↳ Burbujeadores

Fuente de abastecimiento. Es aquella parte que suministra el agua por riego, esta puede provenir de un pozo profundo, río, estanque, canal entre otros, que será utilizada en el riego de una determinada área.

Equipo de bombeo. La bomba es el corazón de los sistemas presurizados ya que proporciona la energía necesaria para la operación del sistema y tiene como objetivo aspirar el agua de la fuente e impulsarla a través del sistema, en general los pozos son perforados en las partes bajas requiriéndose por lo tanto bombear en contra de la pendiente. En los sistemas de riego se utilizan bombas centrífugas y bombas de turbina; la bomba centrífuga se instala fuera del cuerpo de agua por lo

que requiere ser cebada, cuando el tubo de succión y la valata no están cebadas, la bomba puede averiarse si el impulsor es revolucionado en seco. como restricción de diseño la altura de succión no debe ser mayor que la carga de succión positiva neta disponible (NPSHA) en el sitio de instalación al nivel del mar y 60°F el $NPSHA = 7.0 \text{ m}$.

Las bombas de turbina de pozo profundo van sumergidas en el cuerpo del agua y se utiliza para extraer el agua de los acuíferos, estos pueden ser accionados con flecha, girada por un motor eléctrico desde la superficie (cabezal de descarga) aunque también la flecha de la bomba puede revolucionarse con un motor de combustión interna.

Últimamente se esta prefiriendo la bomba sumergible con motor integrado al cuerpo de impulsores accionados por electricidad mediante un cable que baja al fondo del pozo desde la superficie del campo donde están los transformadores de corriente eléctrica, algunos de los principales enemigos de las bombas son la cavitación y el golpe de ariete.

La función principal de la bomba es proporcionar el gasto y la presión necesaria para que el sistema de riego funcione adecuadamente sin tener problemas. Los equipos de bombeo tienen la característica funcional que dentro de ciertos límites de operación, al variar la carga hidráulica varía el caudal o gasto, a mayor carga de operación menor gasto y viceversa. Las características de funcionamiento de las bombas se observan siempre en las “curvas características” donde se relaciona: la carga, % de eficiencia, velocidad específica y la potencia, estas características son proporcionadas por el fabricante para tener una instalación adecuada y buena operación. En algunos casos, cuando existe una diferencia de altura de más de 30 metros entre la fuente de agua y la superficie de riego, no se necesita instalar una motobomba para hacer funcionar el sistema, ya que el sistema funciona con presión gravitacional.

Red de tuberías. La red de tuberías en un sistema de riego lo integran todas aquellas partes que conducen el agua desde la fuente de abastecimiento hasta el área del cultivo, de acuerdo a su posición y función se tiene:

- a) Tubería de conducción.
- b) Tubería principal de riego.
- c) Tuberías laterales de riego.

a) Tubería de conducción. Es la parte esencial de un sistema de riego e incluye todas aquellas tuberías que conducen el agua de la fuente de abastecimiento a las unidades de riego. Estas tuberías pueden ser fabricadas con polietileno, alta densidad, PVC, acero galvanizado o de asbesto-cemento, y su selección se basa de acuerdo al efecto que ejercen sustancias corrosivas como ácidos o fertilizantes. Esta línea puede suministrar varias opciones de abastecimiento) riego, urbano, pecuario, entre otros).

b) Tubería principal. Esta tubería es conectada a la tubería de conducción y se encargan de proporcionar el agua a las líneas laterales.

c) Tuberías laterales. Son aquellas líneas donde son colocados los burbujeadores, generalmente se encuentran a espaciamientos predeterminados en la línea o sobre ella. Las líneas regantes son instaladas sobre la superficie del terreno, y son fabricadas con manguera de polietileno o PVC flexible de alta densidad para que soporte la columna de agua y por otra parte el efecto del medio ambiente.

Cabezal de control. Este constituye el cerebro del sistema de riego y esta formado por un conjunto de elementos que permiten el suministro de agua de riego al sistema, medición y control de la presión.

Accesorios del cabezal. Este parte en el conjunto de piezas que se utilizan para unir y acoplar todos los dispositivos que constituyen el cabezal de control dentro de ellos se tienen a los adaptadores macho y hembra, reducciones bushing, codos y tees.

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

Controladores automáticos. Los controladores automáticos sirven para controlar la aplicación del agua de riego, con ellos se disminuye al máximo la intervención humana. Zazueta(1992), señala que estos pueden ser eléctricos, electromecánicos o basados en computadoras, teniendo como objeto los mas simples, operar el sistema basándose en tiempos de riego o volúmenes aplicados. Medina (1976), cita que alguno de estos son las válvulas volumétricas, válvulas eléctricas, programadores y electrotensiómetros.

Reguladores automáticos. Estos equipos se instalan en las líneas de las tuberías que conforman las unidades del sistema, su función principal es controlar el gasto o la presión dependiendo del regulador que se utilice, permitiendo así que todos los burbujeadores trabajen en el mismo rango de operación y lograr una aplicación uniforme en todas las unidades del sistema.

Hidrantes. Son las tomas de agua ubicadas a lo largo de la tubería principal o secundaria.

Las válvulas eléctricas. Estas son conectadas a un programador central con reloj, en el se programan los tiempos de funcionamiento del sistema, de esta forma el programador central envía las órdenes a las válvulas eléctricas, mediante un solenoide que contiene en su interior, permite la apertura o el cierre automáticamente.

Válvula selenoide. Es un dispositivo eléctrico que permite el cierre y apertura de las válvulas electro-hidráulicas en los sistemas de control automático, y funciona con movimiento axial de incitación por la corriente eléctrica (24 volts) después el funcionamiento es hidráulico.

Manómetro. Este es uno de los equipos más importantes en los sistemas de riego ya que permite indicar la presión a la cual es conducida el agua para riego, a su vez indica la presión a la que se encuentra trabajando el sistema, y se usa actualmente los de tipo Bourdon bañados en glicerina para que el sistema de reloj no se dañe con la cavitación

Válvulas volumétricas. Estos equipos sirven para medir el volumen deseado, una vez que este a pasado, se cierra automáticamente dicha válvula, cortando así el flujo del agua.

Burbujeadores. Son emisores que funcionan como un orificio con área hidráulica mayor que en los goteros, por lo que suministran gastos mayores para presiones similares. Con baja presión producen un chorro que no alcanza a generar lluvia artificial. Son empleados para regar áreas por medio de inundación con cajetes, como en frutales con suelos de textura franca arcillosa, así mismo en casos de problemas de taponamiento por precipitado de sales y sólidos en suspensión dentro del sistema de riego.

Sistemas de riego con burbujeador. Estos sistemas de riego suministran a los cajetes o al área irrigada en forma de chorro irregular sin llegar a formar lluvia artificial. Los sistemas de riego con burbujeador generalmente tienen tuberías regantes con diámetros mayores que los de goteo y microaspersión, debido a la magnitud del gasto de los emisores, generalmente se usa un burbujeador por árbol.

1.6 Diseño de un sistema de riego.

Para diseñar un sistema de riego se debe medir el terreno e incluir todos los elementos que interfieren con el riego en un plano. Después se elabora el plano que no es más que pasar las medidas del croquis a una misma escala.

1.6.1 La automatización en los sistemas de riego

La automatización es una de las herramientas básicas para poder aplicar el agua en el momento adecuado según la evaluación de las necesidades del cultivo y en la cantidad que sea requerida. Esto nos permite alcanzar altos niveles de eficiencia en el uso del agua y la energía. Es fundamental incorporar esta tecnología al campo para tener mejores rendimientos y de esta manera conseguir un balance óptimo y una eficiente utilización del recurso, la elección del nivel de automatización debe realizarse con base al criterio técnico-económico y de acuerdo a la preferencia del agricultor. Una ventaja muy importante de la automatización es el ahorro de la mano de obra de hasta un 60%.

Por otra parte el elevado costo que tiene la instalación de un equipo de riego presurizado obliga a obtener el máximo rendimiento del equipo, estos se consiguen con el cumplimiento de algunas normas, que requieren un entrenamiento y una mayor preparación por parte de los usuarios.

Las instalaciones distan, normalmente, de los centros de ubicación de las empresas instaladoras o de las empresas de asesoramiento, por ello es importante que el agricultor conozca perfectamente el funcionamiento de la instalación, los problemas que pueden presentarse y cómo resolverlos.

Hay que tomar en cuenta, que una mala operación del sistema puede ocasionar daños muy superiores a los que se presentan en un sistema de riego tradicional, por lo que se debe prestar especial atención a las instrucciones que reciba por parte de las compañías instaladoras.

1.6.2 Niveles de Automatización

Los sistemas de riego localizado son, en general, instalaciones fijas formadas por varias unidades de riego que operan consecutivamente con tiempos de operación

largos y con alta frecuencia. Por tanto, se prestan a una posible programación automática.

Los equipos existentes, actualmente en el mercado, se consiguen diversos niveles de automatismo, hasta llegar al uso de microprocesadores con una programación automática del riego para períodos largos de tiempo, incluyendo la estimación automática de las necesidades de riego. La elección del nivel de automatismo ideal para cada caso, deberá hacerse en base a estos criterios técnico - económicos y con preferencias del agricultor. Así mismo debe estar de acuerdo con la formación del personal que lo maneja y de las posibilidades de un buen servicio de reparación y repuestos.

En general, pueden establecerse diversas categorías más o menos arbitrarias para clasificar los niveles de automatismo, estos son:

a) *Nivel “cero”*: Es el nivel más bajo de automatización. Este consiste en utilizar válvulas de accionamiento manual para dar paso al agua de riego hacia cada una de las unidades. En este caso, el parámetro que se utiliza para controlar el riego es el tiempo o volumen de agua aplicado si se dispone de un contador de líquidos, lo que no es habitual. A pesar de ser un nivel mínimo de automatización, requiere mucho menos mano de obra que cualquier otro sistema, con excepción de determinadas instalaciones fijas o equipos mecanizados de aspersión. La principal actividad del regante consistirá en la recarga de abonos, mantener los filtros limpios, vigilar que los emisores funcionen correctamente y abrir y cerrar válvulas de acuerdo con el programa de riego (<http://www.chileriego.cl/docs/016-05.doc>).

b) *Nivel 1*. En este nivel cada válvula o serie de válvulas debe ser puesta en marcha antes de cada ciclo de riego.

c) *Nivel 2*. En este nivel la válvula o conjunto de válvulas repiten el ciclo de riego automáticamente.

d) *Nivel 3*. Es el nivel de automatismo total en base a microcomputadores.

1.6.3 Parámetros de control

Para el control automático de las instalaciones, cada unidad de riego dispone de una o varias válvulas que son accionadas por distintos mecanismos estas se cierran cuando ha pasado un determinado volumen de agua, o tras un determinado tiempo de funcionamiento, siendo estos dos parámetros de control los más habituales.

a) Automatización por tiempo: En este caso, las válvulas que controlan cada unidad de riego, se cierran cuando ha pasado un determinado tiempo de funcionamiento.

b) Automatización por volúmenes: Es el sistema más recomendable para riego localizado en explotaciones de pequeña dimensión, ya que una misma instalación puede suministrar volúmenes de agua diferentes en un mismo tiempo de funcionamiento, al variar el caudal por múltiples circunstancias, como pueden ser: cambios de temperatura, variaciones en la presión de entrada de agua al sistema, ropturas, obturaciones, entre otras. Por tanto, el control por volumen supone mayor seguridad en el manejo del sistema de riego.

c) Otros parámetros de automatización: En algunos casos, la apertura y cierre de las válvulas puede realizarse en función de los valores alcanzados por distintos parámetros indicadores del estado del agua en el suelo y/o en la planta, algunos de ellos son el potencial de agua en el suelo o temperatura de la hoja. A veces se automatiza en base a parámetros micrometeorológicos, el caso más frecuente es la altura de agua en un tanque evaporimétrico.

1.6.4 Modo de operación

En lo que se refiere a los mecanismos utilizados para ordenar la apertura y cierre de válvulas, podemos clasificar los automatismos en tres tipos:

a) Hidráulicos. En este caso las válvulas actúan por señales de presión de agua transmitidas a través de tubo de PE de pequeño diámetro (4-6 mm.), estos normalmente controlan volumen.

b) *Eléctricos y/o electrónicos*. Las válvulas actúan bajo excitación magnética creada por solenoides al recibir impulsos eléctricos, estos normalmente controlan tiempos de riego.

c) *Mixtos*. En éstos se combinan ambos tipos.

1.6.5 Automatismo hidráulico.

Válvulas hidráulicas. Estos equipos son mecanismos que interrumpen el paso de agua por medio de un pistón o un diafragma que cierra la salida, el pistón o diafragma actúa mediante la presión transmitida por una señal hidráulica, dentro de ellos existen dos tipos estos son:

a) *Normalmente abiertas*: Estas se cierran al recibir la señal hidráulica, el agua entra por un tubito de control a la cámara y crea una presión hacia abajo de igual magnitud a la existente en la red. Sin embargo, la fuerza de empuje es mayor en el diafragma que en la junta de cierre, ya que por tener una mayor superficie, el pistón baja y se produce el cierre.

b) *Normalmente cerradas*: Estas se abren al recibir la señal hidráulica, en este caso, el proceso es análogo al anterior, pero el agua de control entra a la cámara inferior del diafragma y, por lo tanto, el empuje sería hacia arriba abriendo la válvula. Para facilitar su instalación se fabrican con distintos tipos de acoplamientos: rectas, en “t”, en codo, entre otros y en una amplia gama de diámetros (1” - 16”).

Válvulas volumétricas. Constan de un contador de agua tipo Woltmann y una válvula hidráulica o mecánica, esta última sólo existe para diámetros pequeños (normalmente hasta 1”), conectados entre sí.

La válvula se pone en funcionamiento cuando se gira a mano es un dial en el que se marca el volumen de agua deseado, cuando el contador ha medido esa cantidad y el mando ha vuelto a cero, se transmite una señal a la válvula hidráulica o mecánica que corta el flujo de agua.

La cantidad de agua puede ser modificada cuando la válvula está en funcionamiento y cerrada manualmente cuando se desee, el funcionamiento de esta válvula no es afectado por las fluctuaciones de presión en la tubería. La mayoría de los modelos incorporan un mecanismo totalizador que registra el volumen total de agua que ha pasado por la válvula en riegos sucesivos. La variedad de diámetros es un poco inferior a la de las válvulas hidráulicas, llegando hasta diámetros de 10", normalmente, el contador y la válvula hidráulica suelen integrarse en un único cuerpo, sin embargo, se pueden encontrar volumétricas con ambos mecanismos por separado, conectados mediante una válvula multivías.

El error en la medida del volumen de agua que se ha presentado varia aproximadamente pasado en $\pm 2\%$ de la capacidad máxima del dial. Por tanto, es importante elegir el dial adecuado dentro de la gama de fabricación, por otra parte tanto en las válvulas volumétricas como para las hidráulicas, el fabricante, para cada diámetro debe suministrar el ábaco de pérdidas de carga con relación al caudal, además de las presiones y caudales máximos y mínimos de trabajo. La presión mínima de trabajo suele ser del orden de $1,2 \text{ Kg. /cm}^2$, y la máxima de unos 10 Kg. /cm^2 , es interesante determinar el tiempo de cerrado, para estimar el golpe de ariete que puede producirse en la instalación.

Válvulas multivías. Estas válvulas, se conectan entre sí en los automatismos de tipo secuencial hidráulico, las conexiones se realizan con un tubo de PE y en ellas, cuando sea necesario, se cambia la dirección de las señales (flujo del agua), se utilizan pequeñas válvulas de 3 a 5 vías que envían una señal hidráulica por una u otra salida, en función de la entrada por la que les llegue.

1.6.5.1 Niveles de automatismo hidráulico

Uno de los más elementales consiste en instalar válvulas volumétricas independientes, en este caso, el riego se realiza válvula a válvula abriendo manualmente y cerrando automáticamente, en cuyo momento se procede a abrir otra, no existe ninguna limitación en cuanto al orden de apertura de las válvulas.

Un segundo nivel, es el riego secuencial hidráulico, en él las válvulas volumétricas van conectadas entre sí, de tal forma que la apertura es manual y simultánea para todas ellas. Así tenemos que mientras riega la primera, es enviada una señal que mantiene cerradas a las demás. Cuando finaliza el riego de la primera válvula, se abre automáticamente la segunda, manteniendo las demás cerradas, y así sucesivamente. En este tipo de automatismo, una vez fijado el orden de riego de las válvulas y realizadas las conexiones, no puede alterarse dicho orden sin proceder a una nueva conexión. En cambio, sí es posible suprimir el riego en algunas de las válvulas. Al fijar el orden de riego de las válvulas, debe tenerse presente que es conveniente que operen primero las situadas en puntos de más presión. En general son las más próximas al cabezal de control, aunque en predios con desniveles importantes podrían ser las más alejadas.

Una limitación en este tipo de automatismos es la distancia (unos 200 m), en esta la señal es tan débil que produce un mal funcionamiento de los mecanismos hidráulicos. Una válvula multivía puede utilizarse para reforzar esta señal, tomando la presión directamente de la red, en aquellos puntos donde convenga. Con este procedimiento, se ha eliminado esta limitación. Otro problema lo constituye el desnivel que en ciertos casos mantiene suficiente presión dentro del tubo de PE, aunque haya cesado la señal, en estos casos, se instalan válvulas antitopográficas que permiten drenar el tubo.

Un inconveniente importante de estos sistemas lo constituye el que se produzcan fugas de agua importantes en los tubos, que impiden que llegue la señal hidráulica con suficiente presión. Para localizar estas fugas puede llegar a ser difícil en algunas instalaciones. Por lo tanto esto debe tenerse presente en el diseño para hacer el trazado de los tubos por sitios de fácil localización y debidamente protegidos.

Cuando el caudal de la unidad supera el máximo admitido por una válvula volumétrica, en lugar de aumentar su número o el diámetro, suele ser más económico

asociarle una o varias válvulas hidráulicas que tomen agua directamente de la red principal y abren y cierran comandadas por la volumétrica, al mismo tiempo que ella.

1.6.6 Automatismo electrónico

Válvulas selenoides. Estos equipos son mecanismos que abren o cierran el paso del agua actuando por excitación eléctrico-magnética, esta señal se hace llegar por medio de un cable eléctrico, y funciona con movimiento axial de incitación por la corriente eléctrica (24 volts) después el funcionamiento es hidráulico.

En realidad sólo en las válvulas de muy pequeño diámetro (inferior a $\frac{3}{4}$ "') el selenoide actúa directamente sobre el mecanismo que abre o cierra el paso de agua por la tubería. En los demás casos la válvula selenoide abre o cierra el paso de agua en un pequeño circuito, envía las señales a una válvula hidráulica del mismo tipo de las anteriormente descritas.

Programadores de control por tiempo. Este consiste fundamentalmente de un reloj y de un conjunto de mandos e interruptores que permiten fijar a voluntad el orden de apertura y cierre de las válvulas solenoides y la duración del riego en cada una de ellas, además de ciclos de riego durante períodos más o menos largos, generalmente una o dos semanas. Estos instrumentos necesitan energía eléctrica y algunos modelos vienen preparados para operar con baterías, estos programadores realizan el arranque y parado de bombas eléctricas, tanto para impulsión de agua de riego, como para inyección de fertilizantes.

Existen modelos pequeños sólo para el control del ciclo de riego que se venden incorporados a las propias válvulas solenoides y en algunos casos permiten conectarlas entre sí, para riego secuencial, sin necesidad de un programador central.

Programadores de control por volumen. Tratando de compaginar las ventajas del automatismo hidráulico y electrónico han surgido estos equipos, en ellos el

control se realiza por volúmenes, en lugar de programar por tiempo. La dosis de riego se controla a través de pulsos eléctricos, asociando cada pulso a un determinado volumen de agua medido por medio de un contador que envía señales al programador cada vez que el indicador correspondiente mide una vuelta completa, cerrando un circuito eléctrico a través de un electroimán.

1.6.6.1 Niveles de automatismo electrónico

Con estos programadores pueden conseguirse niveles de automatismo muy superiores a los del tipo hidráulico, ya que no sólo permiten establecer la secuencia de riego y las dosis para cada unidad, sino que se puede automatizar la decisión de regar e incluso la cantidad de agua a aplicar en cada unidad en función de una serie de parámetros medidos a través de sensores colocados en el cultivo, estos envían las señales correspondientes al programador central, que arranca y para el grupo de impulsión si fuese necesario.

Con estos sistemas, al enviar señales eléctricas no hay limitaciones de distancia ni topográficas como en el caso de los hidráulicos. Sin embargo destaca como inconveniente la necesidad de una fuente de energía y el tratarse de mecanismos en general más complicados.

1.6.7 Automatismo por microcomputadores.

En la actualidad los recientes avances en el campo de los microprocesadores se consiguen unidades muy compactas a precios accesibles para uso en la agricultura, que permiten alcanzar el nivel de “automatismo total”, mediante el tipo de automatismos, se consigue un avance cualitativo interesante, como es la posibilidad de controlar el funcionamiento hidráulico de la instalación a través de sensores de presión y flujo que detiene el riego cuando registran valores superiores o inferiores al rango previamente fijado. Además de permitir el control permanente de parámetros meteorológicos, control sobre la aplicación de fertilizantes y pesticidas.

El control de riego se realiza a través de volúmenes medidos en un contador que envía pulsos al programador, en función de los volúmenes medidos, éste abre y cierra las válvulas solenoides instaladas en el campo, esto se lleva a cabo por medio de energía eléctrica, o a través de válvulas hidráulicas si no dispone de electricidad. Las válvulas hidráulicas son controladas por pequeñas válvulas solenoides piloto, situadas en las proximidades del microcomputador.

1.7 Trazado de las subunidades de riego

Subunidad de riego. El tamaño de estas secciones de riego están en función del gasto que se disponga o del agua disponible. La subunidad está compuesta por las líneas regantes donde son conectados los burbujeadores.

Para el trazado de la red de distribución del sistema en el campo es necesario de contar con un plano a escala del huerto o campo a irrigar donde claramente se indique la orientación, distancia entre los árboles, límites del campo, obstrucciones, pendientes de terreno y la localización de la fuente de abastecimiento de agua.

El trazado incluye el delinear toda una red de tuberías y mangueras que permitan la distribución del agua de riego a través de todo el campo. La línea de tubería distribuidora y las líneas laterales que se extiende a partir de ésta, componen una subunidad del sistema. Un determinado número de subunidades pueden ser agrupadas al operarlas a un mismo tiempo como una sub-área de riego N'.

En campos de cultivo con pendientes pronunciadas las líneas laterales corren sobre las hileras de cultivos que se encuentran sobre los contornos de las curvas de nivel, mientras que la línea distribuidora se coloca descansando sobre la pendiente más pronunciada del campo. Esta disposición de las tuberías y mangueras permite el logro de una mejor distribución de las presiones dentro de la subunidad y por lo tanto una mayor uniformidad en la aplicación del agua de riego.

En este punto el diseñador debe decidir sobre el número de subunidades que se empleará para trazar el sistema de riego, esto es frecuentemente un múltiplo del valor de N' lo cual facilita la operación del sistema.

1.7.1 Diseño de las subunidades.

La parte fundamental del diseño de la red de tuberías, lo constituye indudablemente la especificación del diámetro de la línea distribuidora, su punto de unión con la tubería subprincipal y el diámetro de la línea lateral y su punto de unión con la línea distribuidora. Los puntos de diseño mencionados deben de ser efectuados en todas aquellas subunidades que así lo requieran o para una sola subunidad (la más crítica, i. e., de mayor tamaño), dentro de un mismo grupo de subunidades que presenten condiciones similares de forma y topografía.

Por lo tanto, se puede concluir que para huertos o viñedos u otros cultivos a irrigar por goteo se puede diseñar solamente una sola subunidad siendo esta la que presente las condiciones más críticas y sus resultados pueden ser extendidos directamente al resto de las subunidades con características similares. Sin embargo, en aquellos casos en donde la pendiente del terreno y la forma del campo sean muy irregulares, el diseño de las subunidades puede extenderse a más de un solo caso.

1.8 Normas y criterios de diseño e instalación.

Para iniciar a elaborar un diseño se debe contar con un plano topográfico del área a regar, es necesario disponer de algunos datos básicos relacionados con el clima, suelo, tipo de cultivo, para poder calcular las necesidades de agua en el mes de máxima demanda.

Las instalaciones de riego agrícola por aspersión requieren de una potencia media a alta, normalmente superior a 3 Hp, esto exige contar con energía eléctrica trifásica (380 voltios), en los casos en que la electrificación no sea posible se recurre a generadores de potencia. Así mismo se pueden utilizar bombas de alta presión acopladas a la toma de fuerza del tractor.

Un especialista, debe exigir el cumplimiento de los siguientes factores como mínimo: Memoria de cálculo de la tubería y de la bomba; plano de instalación; catálogos de los equipos con fichas técnicas. A la vez es recomendable que el proyectista entregue un manual de operación y mantenimiento del equipo, con algunas indicaciones para el manejo del riego.

1.8.1 Aspectos hidráulicos de los sistemas de riego.

En los sistemas de riego por aspersión se presentan dos problemas hidráulicos, estos son:

1. La evaluación del flujo en tuberías con una entrada y una salida (principales, subprincipales y auxiliares).
2. La evaluación del flujo en tuberías con salidas múltiples (laterales o distribuidos o secundaria).

La base para el diseño es la selección de los diámetros de tal forma que las pérdidas de energía no deben de exceder los límites máximos establecidos para lograr altas eficiencias de aplicación y uniformidad de distribución que resulten sean satisfactorias.

El flujo del agua a través de conductos cerrados es siempre acompañado por una pérdida de presión o carga causada por la fricción, la magnitud de la pérdida de carga depende de la rugosidad de las paredes interiores del tubo, del diámetro

del tubo, la viscosidad y la velocidad del agua dentro de la tubería; para estimar esta pérdida de carga se emplea el modelo propuesto por Hazen-Williams.

$$H_f = \left(\frac{1.21 \times 10^{10}}{d^{4.87}} \right) \left(\frac{Q}{C} \right)^{1.852} L \quad (1.5)$$

Donde:

Q = Gasto o caudal en litros por segundo (lps).

d = Diámetro de la tubería en pulgadas (mm).

C = Coeficiente de rugosidad de la tubería o factor de Hazen cuyo valor depende del material(adimensional)

L = Longitud de la tubería en metros (m).

1.8.2 Método de cálculo.

El método de cálculo que se sigue debe considerar las siguientes condiciones:

- a) Un coeficiente de rugosidad de 150, representativo de los materiales de plástico utilizado comercialmente para caracterizar las tuberías de plástico PVC y mangueras de polietileno.
- b) Un coeficiente para pérdidas por accesorios de 1.023, se multiplica por la pérdida de carga que se obtiene con la fórmula de Hazen-Williams.

Las consideraciones anteriores permiten al diseñador obtener resultados rápidos y seguros, sin entrar en cálculos detallados, en los diseños de los sistemas de microriego son realizados diferentes cálculos hidráulicos para determinar las pérdidas de carga en las líneas de conducción.

2. MATERIALES Y METODOS

Este trabajo de tesis utilizo la metodología expresada en el texto de sistemas de riego por aspersión y goteo de los autores Briones y Casillas (1997). Para el diseño del sistema de riego y la instalación se determinaron en función de la evaluación de los parámetros de velocidad de infiltración, considerando el clima y problemas de riego de los vecinos y del área de influencia en la región de Parras, como la velocidad del viento principalmente.

La instalación obedece a términos prácticos como excavación, profundidad, tazo de laterales y líneas regantes, selección del burbujeador mas adecuado, características de la obra como el costo y la garantía; vida útil del sistema y tiempo de entrega de la obra.

Los materiales utilizados:

6. Tanque evaporimetro tipo A.
7. Cuadros reflectometros.
8. Cubeta de 20 litros.
9. Medidor volumétrico NYERS
10. Controlador de riego Hunter.
11. Selenoide de apertura en 2" Hunter.
12. 7, 400 metros de cable Under Graund No. 14 y 16
13. Un Swich termo magnético de 100 AMP.
14. Un control de 15 AMP.
15. 28 subunidades de con 35 conexiones.
16. Anemómetro Rain Bird PG-240.
17. Cronometro (Time-Ride) de un minuto.
18. Material propio de la obra, tabla 2.5.

Localización del sitio

El presente trabajo se llevo a cabo en una huerta de Nogal en el rancho denominado “Casa Blanca” en el ejido la Cecilia Municipio de Parras de la Fuente Coahuila, con una ubicación geográfica de 25° 30’ latitud norte y 109° 9’ longitud oeste, su acceso es por la carretera libre a Torreón kilómetro 130, (Fig. 2.1).

Fuente de abastecimiento.

Este rancho cuenta con un pozo profundo, equipado con una bomba sumergible, bombea un gasto de 4 litros por segundo para abastecer directamente al sistema de riego.

2.1 Prueba de calibración.

Para la calibración de los burbujeadores se realizó una prueba en el laboratorio de Hidráulica del departamento de Riego y Drenaje. La prueba se llevó a cabo para aforar la cantidad de agua que se proporciona al árbol en determinado tiempo, de esta prueba se obtuvo la siguiente ecuación:

Ecuación utilizada:

$$Y = a \times x^b \quad (2.6)$$

Sustituyendo ecuación (2.6) :

$$q = a \times R^b$$

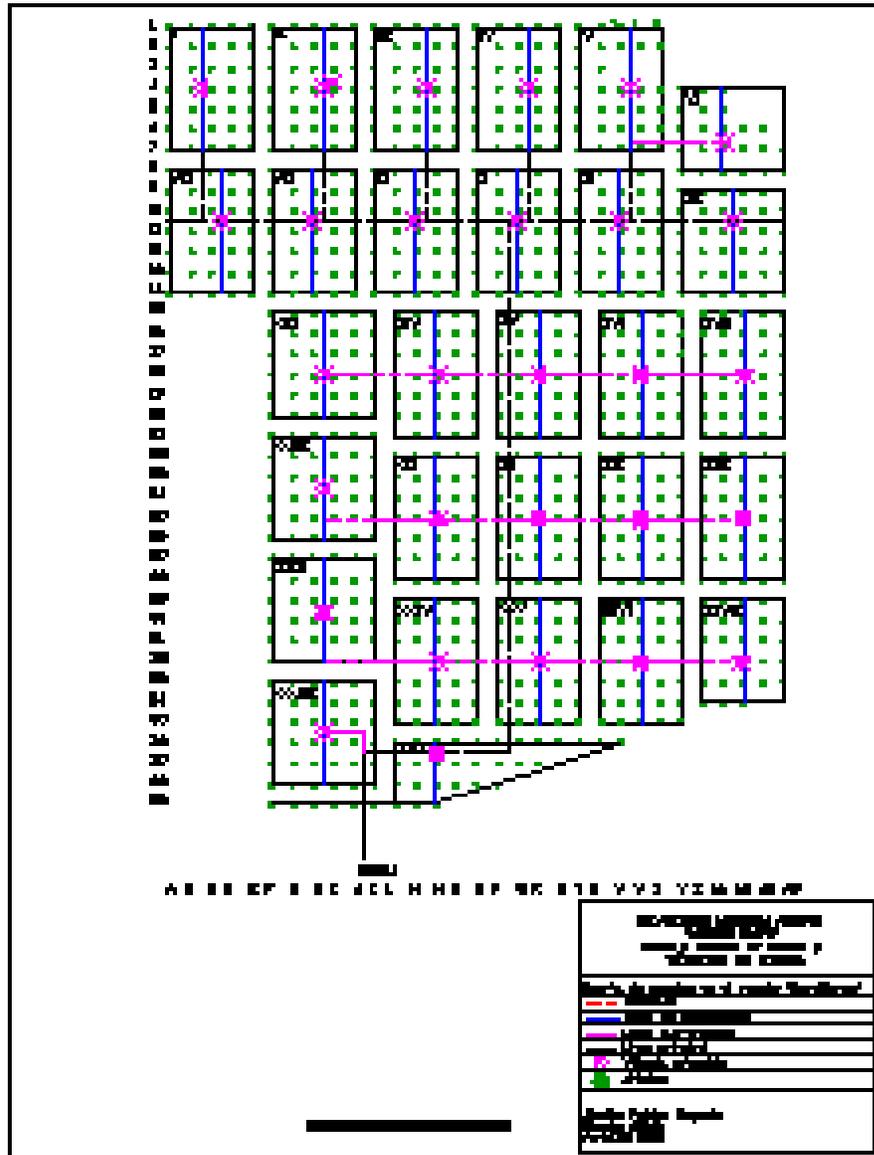
Se obtiene la ecuación deseada que es igual a :

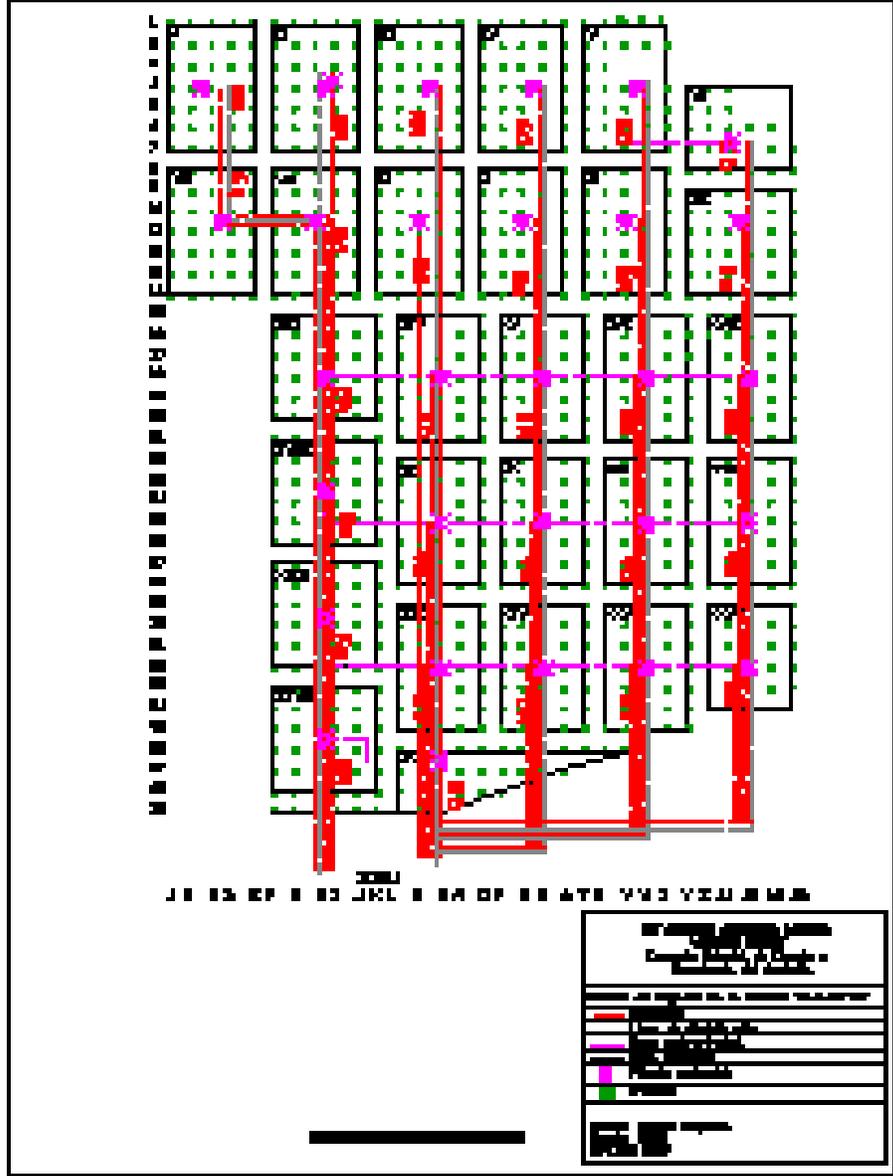
$$q = 20.19778R^{-0.571678} \quad (2.7)$$

Donde:

q = gasto del burbujeador en litros por minuto.

R = Número de roscas del burbujeador.





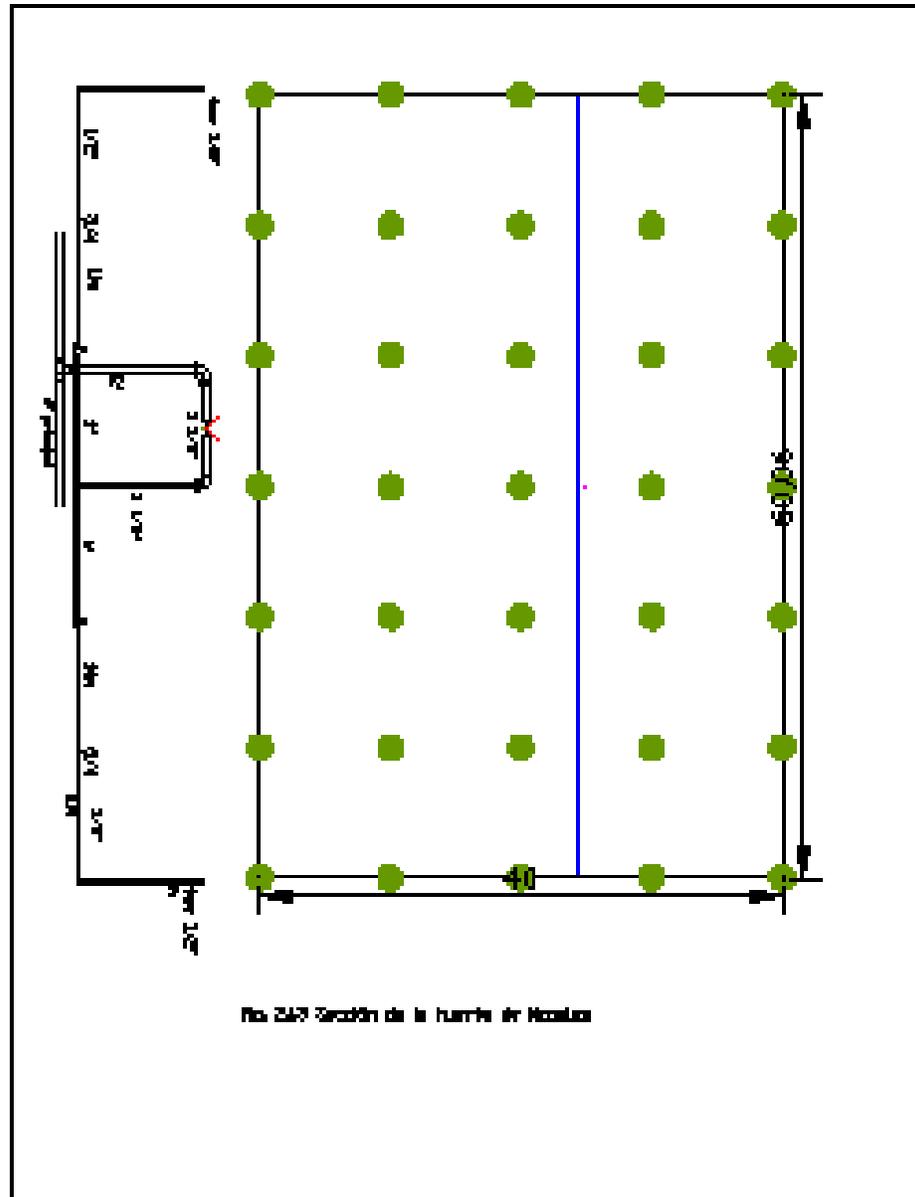


Fig. 2.43 Sección de la fuente de Neolitos

2.3 Procedimiento para el cálculo de la prueba de infiltración

Los datos obtenidos para las variables del modelo de Kostiakov-Lewis fueron obtenidos por medio de los cilindros infiltrómetros:

$$I = Kt^n \quad (2.3)$$
$$1 < n < 0$$

Donde:

I = velocidad de infiltración instantánea (cm. /hr.)

t = tiempo (min.)

K = Constante que representa la velocidad de infiltración t = 1

n = pendiente de la curva de velocidad de infiltración con respecto al tiempo

La infiltración acumulada, se obtiene integrado la ecuación de velocidad de infiltración:

$$D = \int_0^t I dt$$

D = infiltración acumulada o lámina de agua acumulada (cm.).

Si reemplaza la ecuación y se desarrolla, la infiltración acumulada será igual a:

$$D = C T^b$$

Donde:

C = lámina de agua acumulada en el perfil del suelo cuando t = 1 minuto.

b = pendiente de la curva de infiltración acumulada versus el tiempo.

$$D = f(t)$$

2.3.1 Valores de infiltración obtenidos en el campo, hasta llegar a la infiltración básica.

Las pruebas se corrieron en tres texturas de suelo predominantes en el área de estudio.

Tabla 2.1 Datos obtenidos de la prueba de infiltración en un suelo arcilloso.

Hora	Tiempo Min	Lámina infiltrada cm/hr	Lámina acumulada Cm	Logaritmos	
				Tiempo X	Lámina Y
17:14				X	Y
17:16	2	0.8	0.8	0.3010	-0.0969
17:18	4	0.0	0.8	0.6021	-0.0969
17:20	6	0.4	1.2	0.7782	0.0792
17:25	11	0.4	1.6	1.0414	0.2041
17:30	16	0.3	1.9	1.2041	0.2788
17:40	26	0.6	2.5	1.4150	0.3979
17:50	36	0.5	3.0	1.5563	0.4771
18:10	56	1.1	4.1	1.7482	0.6128
18:40	86	0.5	4.6	1.9345	0.6628
19:40	146	1.6	6.2	2.1644	0.7924
21:40	266	1.9	8.1	2.4249	0.9085

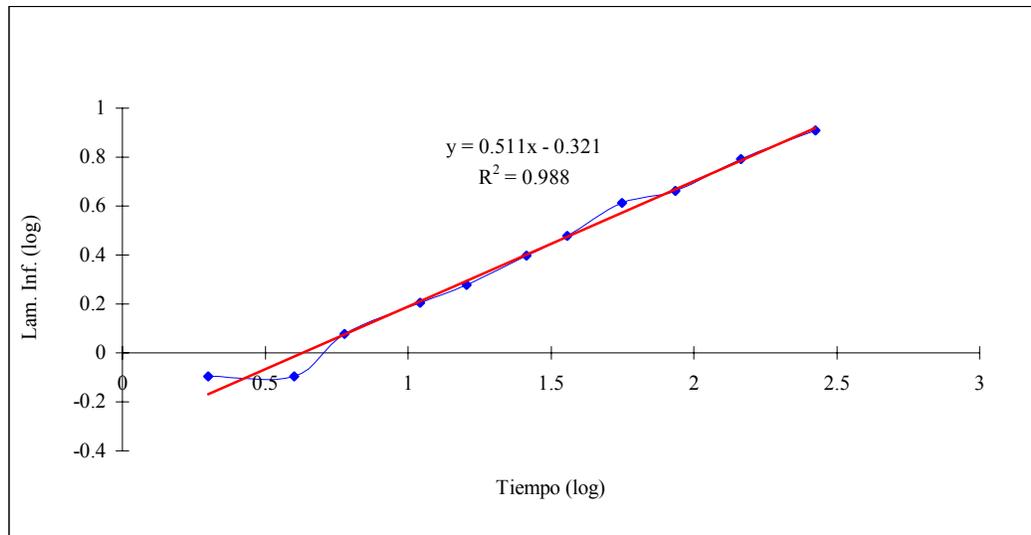


Fig. 2. 2. Ecuación de regresión ajustada en suelo arcilloso

Penetración de la lámina Acumulada

$$D = 0.477 t^{0.511} \quad (2.4)$$

Velocidad de infiltración

$$I = 14.633 t^{-0.489} \quad (2.5)$$

Tabla 2.2 Datos obtenidos de la prueba de infiltración en un suelo arcillo-arenoso.

Hora	T min	Lámina infiltrada cm/hr	Lámina acumulada cm.	Logaritmos	
				Tiempo	Lámina
09:18	0			X	Y
09:20	2	0.2	0.2	0.3010	-0.6990
09:22	4	0.1	0.3	0.6021	-0.5229
09:27	9	0.1	0.4	0.9542	-0.3979
09:32	14	0.1	0.5	1.1461	-0.3010
09:42	24	0.3	0.8	1.3802	-0.0969
09:52	34	0.3	1.1	1.5315	0.0414
10:12	54	0.6	1.7	1.7324	0.2304
10:44	84	0.6	2.3	1.9243	0.3617
11:44	144	1.0	3.3	2.1584	0.5185
13:44	264	1.8	5.1	2.4216	0.7076

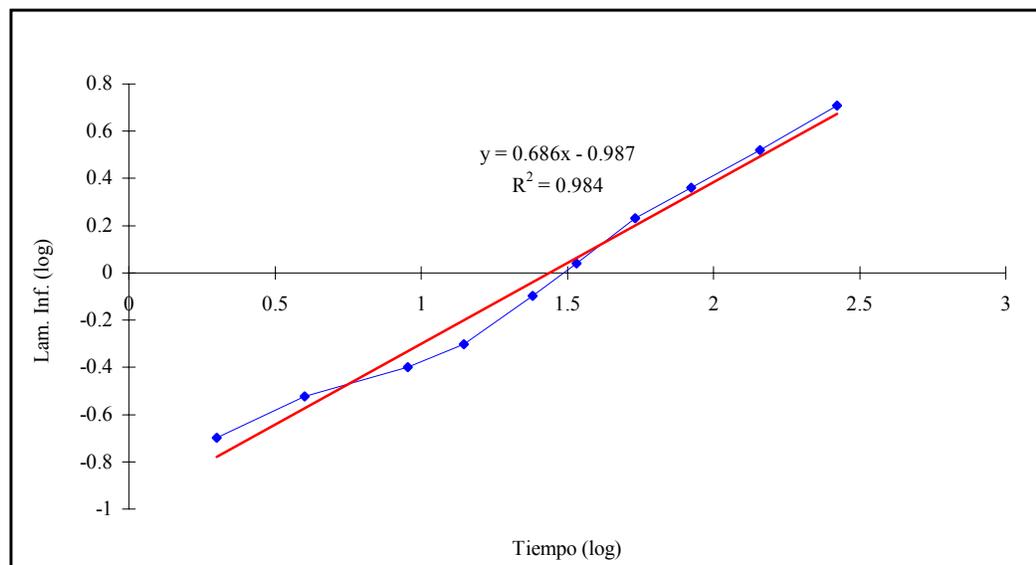


Fig. 2. 3. Ecuación de regresión ajustada para suelo arcillo-arenoso.

Penetración de la lámina Acumulada

$$D = 0.103 t^{0.686} \quad (2.6)$$

Velocidad de infiltración

$$I = 4.245 t^{-0.314} \quad (2.7)$$

Tabla 2.3. Datos obtenidos en la prueba de infiltración en un suelo arenoso.

Hora	t min.	Lámina infiltrada Cm/hr	Lámina acumulada cm.	Logaritmo	
				Tiempo X	Lámina Y
14:02				X	Y
14:04	2	1.3	1.3	0.3010	0.1139
14:06	4	1.0	2.3	0.6021	0.3617
14:11	9	0.7	3.0	0.9542	0.4771
14:16	14	0.8	3.8	1.1461	0.5798
14:26	24	0.9	4.7	1.3802	0.6721
14:46	44	2.1	6.8	1.6435	0.8325
15:16	74	2.8	9.6	1.8692	0.9823
16:16	134	4.9	14.5	2.1271	1.1614
18:16	254	6.8	21.3	2.4048	1.3284

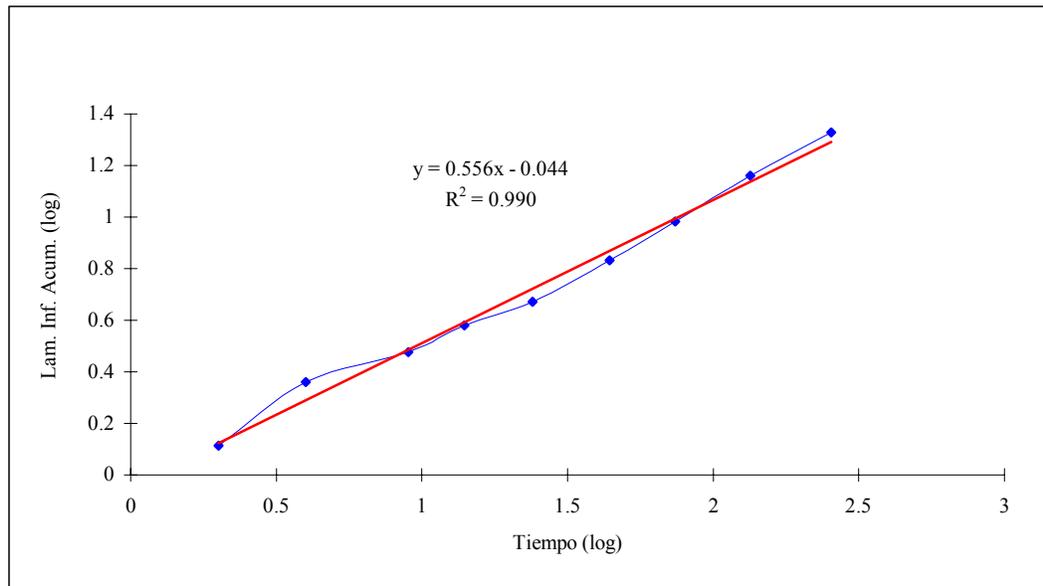


Fig. 2. 4. Ecuación de regresión ajustada en un suelo arenoso.

Penetración de la lámina Acumulada

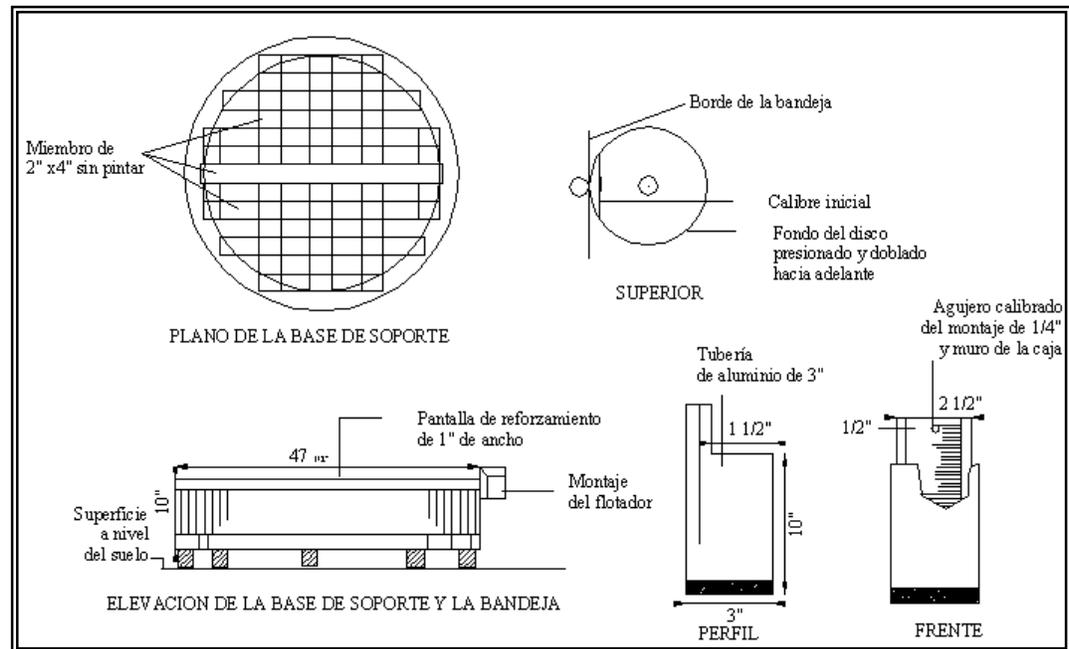
$$D = 0.361 t^{0.556} \quad (2.8)$$

Velocidad de infiltración

$$I = 2.036 t^{-0.444} \quad (2.9)$$

2.4 Evapotranspiración calculada de la región.

Fig. 2.5 Tanque Evaporómetro tipo A



Ecuación para el cálculo de la evapotranspiración

$$ET = E_v * K_c$$

Donde:

E_v = Evaporación en mm., obtenidos del tanque evaporómetro.

K_c = Coeficiente del cultivo en sus diferentes etapas fenológicas.

2.5 Coeficiente de uniformidad de Christiansen.

Para la determinación de este coeficiente se aforaron cuatro subunidades colocado recipientes en cada burbujeador durante un tiempo, se prosiguió a medir el gasto captado con una probeta, en cada subunidad se tomo la presión. Los datos se muestran en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4. Gastos de los burbujeadotes en litros por hora (lph) para el cálculo del coeficiente de uniformidad.

No.	Subunidad más Cerca al pozo (25 psi)	Subunidades de la parte media del terreno.		Subunidad más crítica (15 psi)
		(22 psi)	(18 psi)	
1	8.4	7.9	7.5	6.3
2	8.6	8.0	7.6	6.5
3	9.0	8.6	8.0	7.2
4	9.0	8.6	8.0	6.0
5	8.6	8.0	7.6	5.4
6	8.2	7.5	7.0	5.8
7	8.0	7.2	6.9	6.5
8	9.0	8.6	8.0	6.6
9	9.0	8.7	8.1	7.2
10	9.2	8.9	8.3	7.2
11	9.4	9.0	8.6	6.8
12	9.2	8.5	8.1	6.5
13	9.0	8.5	8.1	6.7
14	9.0	8.6	8.0	7.2
15	9.0	8.6	8.1	7.0
16	9.0	8.5	7.9	7.0
17	9.2	8.8	8.3	7.2
18	9.4	8.9	8.5	7.0
19	9.4	9.0	8.6	6.8
20	9.0	8.5	8.0	6.9
21	9.0	8.5	8.0	7.2
22	9.0	8.5	8.0	7.3
23	9.2	8.7	8.2	7.0
24	9.2	8.6	8.1	6.8
25	9.4	9.1	8.6	6.9
26	9.2	8.6	7.8	7.0
27	9.0	8.4	7.9	7.2
28	9.0	8.5	8.0	7.2
29	9.2	8.7	7.9	6.8
30	9.2	8.6	8.0	6.4
31	9.4	9.0	8.2	6.8
32	9.4	9.0	8.2	6.8
33	9.2	8.6	7.9	7.0
34	9.2	8.5	8.0	7.0
35	9.0	8.4	7.8	6.8
36		9.0	8.3	6.8
Sumatoria Yi	316.2	307.6	288.1	244.8
Promedio	9.03	8.54	8.00	6.80

De acuerdo a lo antes mencionado el coeficiente de uniformidad de Christiansen (UCC), se obtiene con la ecuación 1.4.

2.6 Forma de determinación del costo de la energía eléctrica.

Los cálculos de la energía eléctrica que se gasta actualmente se determinan en función de la T-09, la que se refiere a la tarifa para riego agrícola, en función de los costos que proporcione Comisión Federal de Electricidad (CFE), nos dice que el precio medio por kilowatt hora (\$/Kwh.) es de \$0.2630 ¢, por lo que tenemos que un caballo de potencia (Hp.) equivale a 0.8 Kilowatt hora (Kwh), la bomba trabaja con 7.5 Hp., por lo tanto consume 60 kwh por día, el cual nos da un costo de \$15.78 pesos al día, con estos datos obtenemos el costo total de la energía anual o mensual según se requiera.

Cto. de energía = (consumo en kw)(horas de operación)(Tarifa electrica (\$/kwh))

2.7 Diseño de riego por burbujeador.

Forma del terreno:	Rectangular (300 x 380m.)
Superficie:	10 ha.
Localización de la fuente:	Al inicio del terreno.
Clima:	Calido – seco.
Características del suelo:	Arcilloso, arcillo – arenoso y arenoso.
Cultivo:	Nogal.
Profundidad radicular:	2.0 m.
Velocidad del viento:	20 Km. Hr.
Tipo de sistema:	fijo.
Eficiencia de la bomba:	82%
Separación:	10 x 10 m.
Q disponible:	4 lps
Q burbujeador:	1 gpm = 0.06309 lps.

La sección más crítica esta compuesta por 36 árboles.

Q sección : 36 árboles x 0.06309 lps

Q sección : 2.2712 lps.

2.7.1 Pérdida de carga en línea de conducción y lateral

$$hf = \left[\left(\left(\frac{1.21 \times 10^{10}}{(25.4 \text{ mm})(d^{4.87})} \right) \left(\frac{Q}{C} \right)^{1.852} \right) \times L \right] \times 1.023$$

$$hf = \left[\frac{(1742.8 \times Q^{1.852})}{((d^{1.852})(C^{4.87}))} \times L \right] \times 1.023$$

Donde:

Q = Gasto (lps.)

d = Diámetro (pulg.)

C = Coeficiente de rugosidad de la tubería o factor de Hazen cuyo valor depende del material (adimensional).

L = Longitud (m).

2.7.2 Fórmula para la determinación de la potencia de la bomba.

Para conocer la potencia que debe de tener de la bomba, es necesario obtener la presión total que será igual a la suma de las pérdidas de carga y se calcula con la formula siguiente:

$$Hp = \frac{CDT \times Qt}{75 \times \text{Eff}}$$

Donde:

CDT = Carga dinámica total (hf conducción + hf lateral + presión de operación del burbejeador + nivel dinámico + sumergencia) en metros.

Qt = Gasto total (lps)

Eff = Eficiencia de la bomba (%).

Tabla 2.5. Material propio de la obra..

No	Cantidad	Descripción	Características
1	1500	Tramos	Tubo PVC ½" x 20' x 100#
2	100	Tramos	Tubo PVC ¾" x 20' x 100#
3	100	Tramos	Tubo PVC 1" x 20' x 100#
4	400	Tramos	Tubo PVC 2" x 20' x 100#
5	480	Piezas	Codo PVC ½" x 90 roscado
6	60	Piezas	Reducción bushing PVC ¾" x ½" p /cementar
7	60	Piezas	Reducción bushing PVC 1" x ¾" p /cementar
8	30	Piezas	Tee PVC 1" p / cementar
9	700	Piezas	Tee PVC 1" x 1" x ½" p /cementar
10	60	Piezas	Tee PVC ¾" x ¾" x ½" p / cementar
11	210	Piezas	Tee PVC ½" p /cementer
12	40	Piezas	Tee PVC 2" p / cementar
13	30	Piezas	Codo PVC 2" x 1" x 90 p /cementar
14	30	Piezas	Válvula selenoide 1 ½"
15	30	Piezas	Registro verde
16	30		Concreto para caja
17	1	Piezas	Caja de control de 30 S / V
18	1	Piezas	Gabinete de control
19	1	Piezas	Sub. Rol., de bomba
20	4	Galones	Cemento para PVC
21	1150	Piezas	Adaptadores macho PVC ½"
22	1150	Piezas	Reducciones bushing para boquillas ¾"
23	30	Piezas	Tee PVC 2" p/ cementar
24	7490	Metros	Cable rojo AWG #14
25	4500	Metros	Cable rojo AWG #16
26	2490	Metros	Cable blanco AWG #14

La lista esta basada en el conteo de las piezas y cálculo de longitud de tubería realizada sobre el plano del sistema de riego diseñado, el cual es mostrado en la Fig. 2.1 antes presentada.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

El burbujeador de gasto ajustable descarga menos caudal conforme se incrementa el número de roscas.

Tabla 3.1 Resultados de la calibración del burbujeador.

No roscas	LPM	LPS	GPM
1	20.1978	0.3366	5.3356
2	13.5897	0.2265	3.5900
3	10.7781	0.1796	2.8472
4	9.1436	0.1524	2.4154
5	8.0486	0.1341	2.1262
6	7.2519	0.1209	1.9157
7	6.6402	0.1107	1.7541
8	6.1522	0.1025	1.6252
9	5.7515	0.0959	1.5194
10	5.4153	0.0903	1.4306
11	5.1282	0.0855	1.3547
12	4.8793	0.0813	1.2890
13	4.6611	0.0777	1.2313
14	4.4677	0.0745	1.1802
15	4.2950	0.0716	1.1346
16	4.1394	0.0690	1.0935
17	3.9984	0.0666	1.0562
18	3.8698	0.0645	1.0223
19	3.7520	0.0625	0.9912
20	3.6436	0.0607	0.9625

En la huerta se calibran los burbujeadotes para que la boquilla aplique un galón por minuto, logrando esto posicionando al “tornillo obturador” en 20 vueltas para subunidades cercanas a la bomba que operan a 25 psi y en 18 vueltas para subunidades más alejadas del cabezal de la bomba.

Tabla 3.2 Resultados ajustados con la ecuación en suelo arcilloso.

Tiempo Min	I cm/hr	D cm.
0		
1	14.6331	0.4770
2	10.4282	0.6799
4	7.4316	0.9691
6	6.0956	1.1923
11	4.5327	1.6254
16	3.7742	1.9686
26	2.9770	2.5232
36	2.5392	2.9800
56	2.0460	3.7352
86	1.6590	4.6512
146	1.2809	6.0965
266	0.9554	8.2847

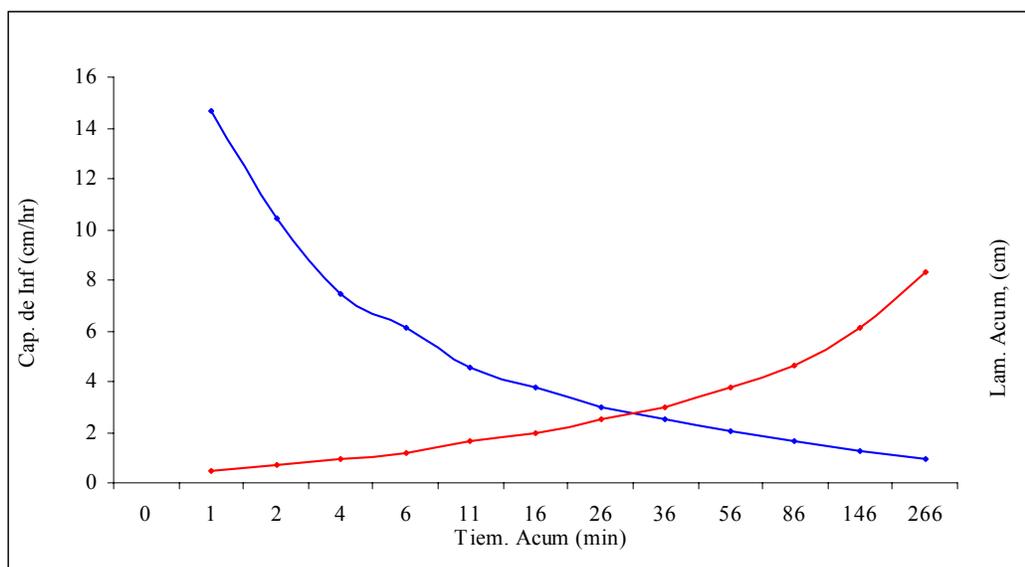


Fig. 3.1 Capacidad de infiltración en un suelo arcilloso.

El tiempo de riego era de una hora por subunidad, se observa que la infiltración varía de 14.633 a 2.046 cm. / hr., durante ese tiempo de encharcado la infiltración acumulada es aproximadamente 4cm. Se observa que a medida que el tiempo se incrementa la lámina acumulada va en aumento y la capacidad de infiltración disminuye.

Tabla 3.3 Resultados ajustados con la ecuación obtenida en un suelo arcillo-arenosos.

Tiempo Min.	I cm. /hr	D cm.
0		
1	4.2442	0.1031
2	3.4145	0.1659
4	2.7466	0.2669
9	2.1292	0.4656
14	1.8534	0.6304
24	1.5648	0.9124
34	1.4027	1.1587
54	1.2131	1.5915
84	1.0559	2.1550
144	0.8915	3.1190
264	0.7370	4.7272

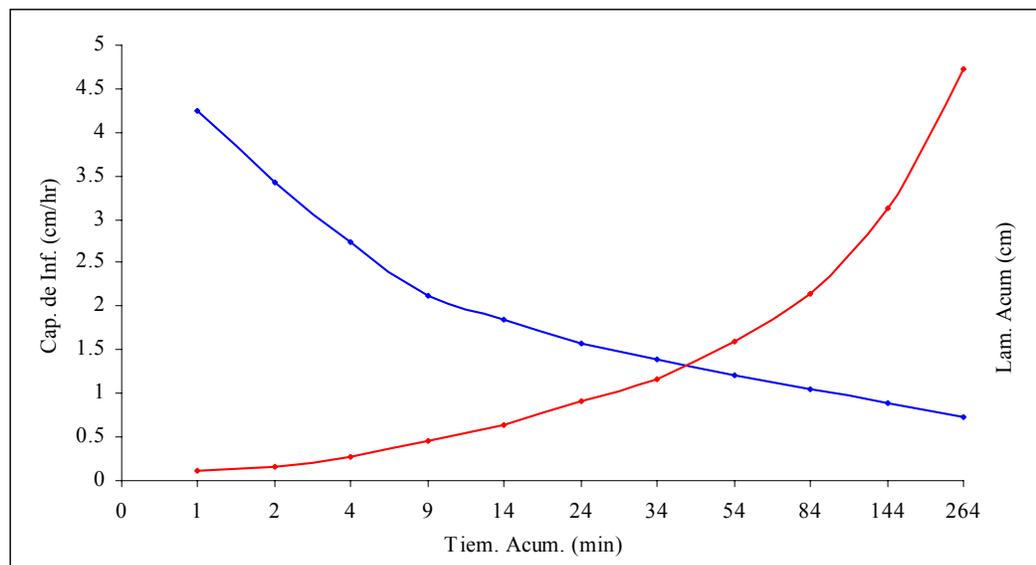


Fig. 3.2 Capacidad de infiltración en un suelo arcillo-arenoso.

Se tiene que en este suelo la variación de la infiltración no es mucha como se puede apreciar, este va de 4.244 a 1.213cm./hr., la acumulación del agua infiltrada se lleva acabo con mas rapidez por lo que el tiempo se reduce y es de 1.6 cm.

Tabla 3.4. Resultados ajustados con la ecuación en un suelo arenoso.

Tiempo min.	I cm./hr.	D cm.
0		
1	12.0358	0.3609
2	8.8462	0.5305
4	6.5018	0.7799
9	4.5352	1.2240
14	3.7270	1.5647
24	2.9334	2.1112
44	2.2410	2.9569
74	1.7789	3.9475
134	1.3665	5.4909
254	1.0286	7.8343

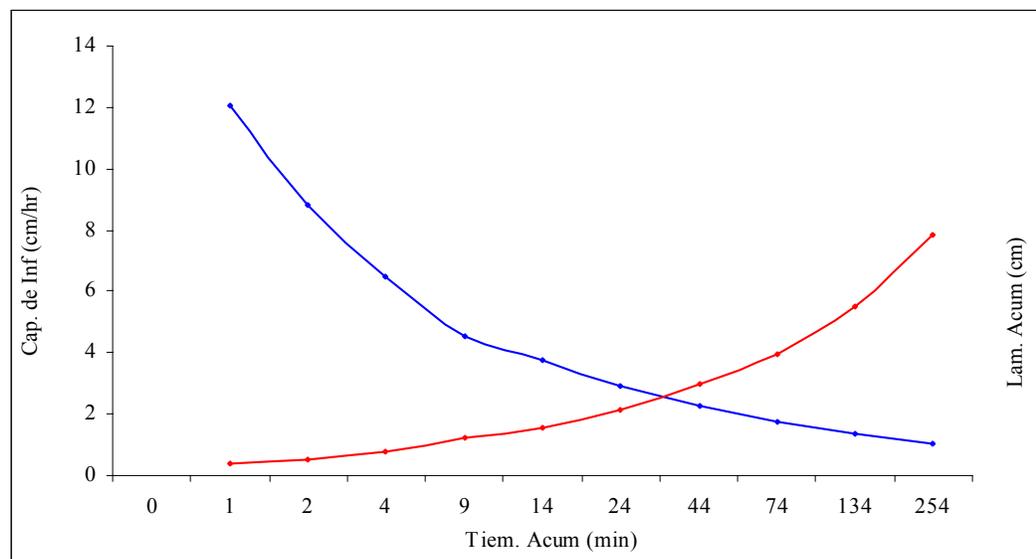


Fig. 3.3 Capacidad de infiltración en un suelo arenoso.

La variación de la infiltración del suelo es de 12.035 a 2.0 cm./hr., durante ese tiempo se acumulan 3.542 cm., de agua.

Durante el tiempo de aplicación, una parte del volumen aplicado se infiltra y la otra parte permanecía encharcada en la superficie. El cajete del árbol evita que el volumen encharcado se escurra.

Tabla 3.5 Resultado del cálculo de la evapotranspiración.

Meses	Evaporación (mm)	Kc.^a	Evapotranspiración
Enero	3.03	0.70	2.121
Febrero	6.00	0.53	3.180
Marzo	8.34	0.53	4.420
Abril	12.4	0.58	7.192
Mayo	14.71	0.91	13.386
Junio	12.47	1.07	13.343
Julio	14.57	1.07	15.589
Agosto	12.96	1.06	13.867
Septiembre	7.39	0.99	7.316
Octubre	6.48	0.80	5.184
Noviembre	4.27	0.75	3.203
Diciembre	2.52	0.70	1.764

a coeficiente de tanque reportada por chileriego/revista/rev3/rev3.4.htm

El coeficiente de Kc del tanque, para calcular la ET mensual en la huerta de nogal, encontraron en la literatura consultada corresponde a ciclos distintos por lo mismo se opto por ajustar la curva Kc a las estaciones de acuerdo al hemisferio.

La evapotranspiración del nogal se incrementa con la brotación y floración que comienza en primavera, y continúa su asenso hasta el verano, época en que hay aumento de follaje y amarre del fruto; el llenado de las nueces en formación está desarrollando. En el crecimiento, amarre del fruto y llenado de la almendra el riego debe ser suficiente para obtener una nuez de calidad, ya que de lo contrario se tendrán muchas pérdidas.

La curva de ET llega a su punto crítico en Junio, Julio y Agosto; en septiembre con la madurez tiende a disminuir; en octubre termina la cosecha. La defoliación del árbol en otoño va acompañada por la reducción de la ET y así hasta la dormancia en invierno.

Tabla 3.6 Comparación de costos de la mano de obra antes y después de la instalación del sistema de riego.

Meses	Sin el sistema de riego (pesos)	Con el sistema de riego (pesos)
Enero	13, 900	3, 100
Febrero	12, 400	2, 800
Marzo	13, 900	3, 100
Abril	13, 400	3, 000
Mayo	13, 900	3, 100
Junio	13, 400	3, 000
Julio	13, 900	3, 100
Agosto	13, 900	3, 100
Septiembre	13, 400	3, 000
Octubre	13, 900	3, 100
Noviembre	13, 400	3, 000
Diciembre	13, 900	3, 100
Total	\$163, 300	\$36, 500

Anteriormente el sistema de riego era manual operaban cinco personas, con el sistema actual solo opera uno. De acuerdo al análisis realizado en la tabla 3.7 se puede observar que la cantidad de mano de obra que se utilizaba ascendía a \$163, 300 pesos en promedio anual que comparado una vez que el sistema de riego a sido rediseñado disminuye a \$36, 500, lo cual quiere decir que el costo de la mano de obra se redujo a un 78% y ahora solo paga un 22% del total anual.

Tabla 3.7 Comparación de costos de la energía eléctrica antes y después de la instalación del sistema de riego.

Meses	Sin el sistema de riego (pesos)	Con el sistema de riego (pesos)
Enero	637.93	489.18
Febrero	574.39	441.84
Marzo	637.93	489.18
Abril	615.42	473.40
Mayo	637.93	489.18
Junio	615.42	473.40
Julio	637.93	489.18
Agosto	637.93	489.18
Septiembre	615.42	473.40
Octubre	637.93	489.18
Noviembre	615.93	473.40
Diciembre	637.93	489.18
Total	\$7, 501.58	\$5, 759.70

$$hf = \left[\frac{(1742.8 \times (2.2712)^{1.852})}{((2.5'')^{4.87} (150)^{1.852})} \times 380\text{m} \right] \times 1.023$$

$$hf = 3.3312 \text{ m}$$

$$hf = \left[\frac{1742.8 \times (0.18927)^{1.852}}{[(1'')^{4.87} (150)^{1.852}]} \times 30 \text{ m} \right] \times 1.023$$

$$hf = 0.2599 \text{ m}$$

$$\text{CDT} = 3.3312 + 0.2599 + 10.5485 + 92 + 5$$

$$\text{CDT} = 111.14 \text{ mca.}$$

$$Hp = \frac{(111.14 \text{ mca})(4 \text{ lps})}{(75)(0.82)}$$

$$Hp = 7.2 \therefore 7.5 \text{ Hp}$$

A pesar de ser un sistema de riego para jardinería se adaptó perfectamente a un sistema agrícola, el cual si se hubiera hecho como tal el costo hubiera sido mas alto, este sistema de riego tuvo un costo total de \$210, 000 pesos.

Cuando mayor sea el contenido de arcilla en un suelo, mayor será el contenido de humedad a una succión determinada, y más gradual será la pendiente de la curva; en los suelos de tipo arcilloso es común observar que requiere mayor tiempo para que se lleve a cabo la infiltración (Fig. 3.1). A su vez, poseen una alta capacidad de retención de humedad, por lo que su bulbo de humedad es mas uniforme (Fig. 3.4), en las áreas que presentan este suelo la frecuencia de riego serán mas distantes a diferencia de los suelos arenosos que requerirá laminas de agua mas pequeñas e intervalos de riego mas cortos. En un suelo arenoso los poros son en su mayoría relativamente grandes, y cuando estos poros se vacían a una succión determinada, sólo una pequeña cantidad de agua permanece en el suelo ya que su infiltrabilidad es alta, es decir se logra infiltrar una lámina determinada en un tiempo menor, poseen una menor capacidad de retención de humedad (grafica 3.3) y su bulbo de humedad no es tan uniforme (Fig. 3.5).

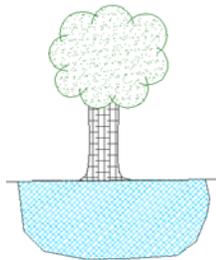


Fig. 3.4 Bulbo de humedad de un suelo arcilloso

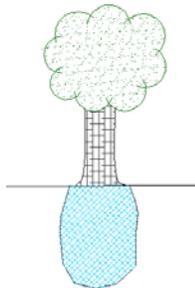


Fig. 3.5 Bulbo de humedad de un suelo arenoso

De los resultados obtenidos del análisis del coeficiente de uniformidad (tabla 2.4) por medio de la ecuación de Christiansen tenemos que el sistema de riego con burbujeadores tiene una buena uniformidad, el valor de esta fue de 0.97, por lo que se cumple con lo que dice la literatura.

Como podemos darnos cuenta el costo de la energía también se redujo a un 23% se muestra en la tabla 3.7., anteriormente se pagaba \$7, 501.58 pesos en promedio anual en la actualidad se pagan \$5, 759.70 pesos.

4 CONCLUSIONES.

1. Por medio de este sistema de riego con burbujeadores se logro optimizar el uso del agua, se evitó el problema que se tenía con el viento por arrastre de partículas, por otro lado el sistema ya no esta sujeto al error humano en cuanto a la aplicación de riego debido a que los tiempos, horas y fechas de riego están controlado por un Timer, que funciona automáticamente, además de que esto esta en función de la evaporación, precipitación y humedad del suelo controlados por sensores que funcionan de forma automática.

2. La mano de obra se redujo considerablemente a un 78%, que era uno de los principales problemas a resolver.

3. No se explota el agua del subsuelo como se hacia anteriormente (antes se regaba 18 hr. / día contra 6 hr. /día).

4. se requiere de la implementación de estos sistemas automatizados, ya que el sector industrial ofrece esta ventaja, cada día existen computadoras más accesibles y a bajo costo para operarlos en el sector agrícola.

5. El agricultor quedo satisfecho con la instalación ya que en un lapso de 3 años de ahorro en mano de obra y energía eléctrica recuperara su inversión, por lo que este modelo se puede clasificar como económicamente rentable, es decir alta inversión inicial, bajo costo de operación.

6. Específicamente el sistema cumple, es decir la diferencia de gastos por la depreciación de inversión no rebasa el umbral económico.

7. Aplique los conocimientos obtenidos en mi formación profesional y considero fueron a la altura del compromiso con el agricultor.

5. RECOMENDACIONES

1. Para que las válvulas selenoides tengan una vida útil mayor se recomienda no usar fertilizantes muy corrosivos, la vida útil de una válvula Selenoide sin el uso de fertilizantes es de 15 años y con el uso de fertilizantes se reduce a 5 años..
2. Para evitar taponamiento de los burbujeadores se recomienda inyectar ácido o revisarlos periódicamente.
3. La persona encargada de la operación del sistema deberá recibir instrucciones del modo de operación o proporcionarle un manual de operación.
4. Cuando los agricultores requieran de la instalación de un sistema de riego automatizado se dirijan con los especialistas en esta área para evitar deficiencias de operación o del recurso.
5. Este sistema se puede adaptar a cualquier lugar pero fundamentalmente en lugares donde el recurso agua es un factor limitado.

BIBLIOGRAFIA

- Caballero Camargo Héctor M. 1981. Manual Teórico Práctico de Uso y conservación del Agua. Buenavista Saltillo, Coahuila. UAAAN.
- García Casillas Ignacio y Briones Sánchez Gregorio, 1986. Diseño y Evaluación de Sistemas de Riego por aspersión y goteo. U.A.A.AN., Buenavista Saltillo, Coahuila.
- García Casillas Ignacio y Briones Sánchez Gregorio, 1997. Sistemas de riego por goteo y aspersión. Editorial Trillas, S.A. de C.V. México D.F.
- Gómez Pompa Pedro, 1957. Riego a Presión, Aspersión y Goteo. 1ra Edición. Editorial AEDOS Barcelona.
- Gurovich Luis A., 1985. Fundamentos y Diseño de Sistemas de Riego. Instituto Interamericano de Cooperación par la Agricultura. Primera edición. San Jose, Costa Rica.
- Gurovich R. Luis A. 1999. Riego Superficial Tecnificado. Ediciones Universidad Católica de Chile. 2da Edición. Alfa omega grupo editorial, S. A de C.V.
- Hernández J. A. 1973. El Nogal Boletín Julio-Agosto. CONAFRUT, S.A.G., Torreón, Coahuila, México.
- <http://www.chileriego.cl/docs/016-05.doc>
- http://www.chileriego.cl/revista/rev3/rev3_9.htm
- Mendoza U.M. 1967 La nuez pecanera en México. Primera parte. Banco Agropecuario del Norte, S. A.
- Narro Farias Eduardo, 1987. Física de Suelo con Enfoque Agrícola. Buenavista Saltillo, Coahuila. UAAAN. Departamento de Suelos.

Narro Farias Eduardo, 1994. Física de Suelos. Editorial Trillas, S.A. de C.V. Pág. 195.

Reyna Cepeda Tomás. 2000. Descripción y Metodología del Diseño de los Sistemas de Riego. Monografía. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila.

Rojas Peña Lindolfo y Ramírez Ramos Luis Edmundo, 1998. Uso y Manejo del Agua. U.A.A.A.N., Buenavista Saltillo, Coahuila.

Rojas P. Lindolfo y Briones S. Gregorio. 1990. Sistemas de Riego. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila.

Rojas Peña Lindolfo. Irrigación. (no especifica los demás datos)

Torres Ruiz Edmundo, 1995. Agrometeorología. Editorial trilla. Primera edición. México, UAAAN.

Van Der Guilk, P. Eng., 2000. Edición 1999. Manual de Riego Localizado y Microaspersión.

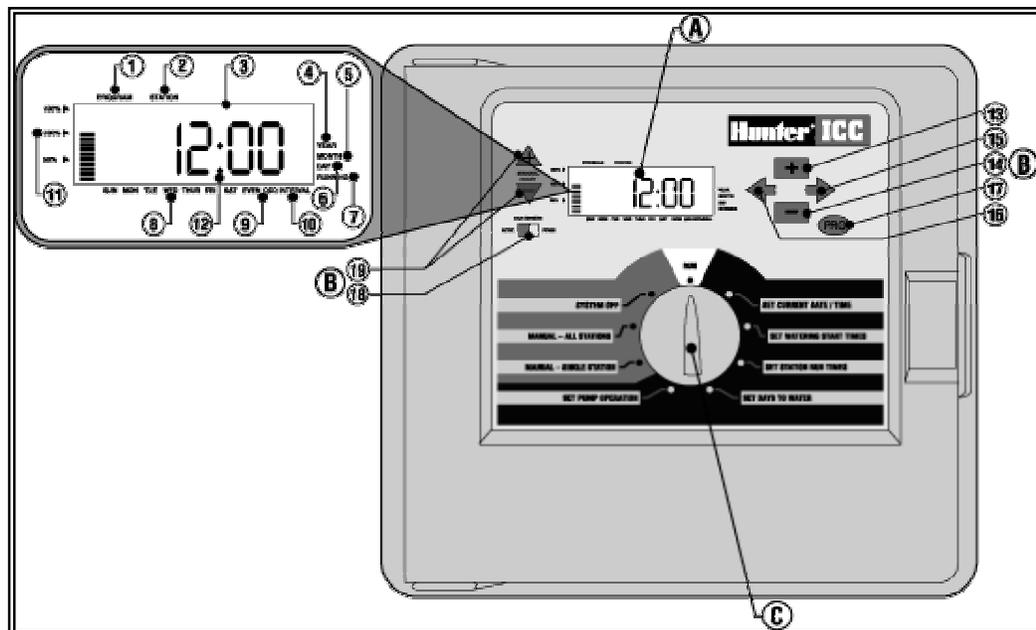
APENDICE

LPM: litros por minuto.
LPS: litros por segundo.
GPM: galones por minuto.

DESCRIPCIÓN DE LA CAJA DE CONTROL

. **Programadores.** Ellos permiten regular el funcionamiento de la instalación y contribuyen, por tanto, a obtener el máximo rendimiento de la misma. Su inclusión, aun cuando es opcional, se justifica en instalaciones de gran superficie o de difícil manejo. Se usan también para automatizar el proceso de limpieza de los filtros. En la Figura 6 se presentan diferentes modelos de programadores.

La elección del programador adecuado estará definida por el número de estaciones de riego que se tiene y que estará relacionado con el número de válvulas eléctricas que se desea controlar (apertura y cierre). A ello deben añadirse las válvulas que operan el retrolavado de los filtros y la partida de la bomba.



A. Funciones del Lcd

1. **Program Selector** (selección del programa). Identifica el programa en uso A, B o C.
2. **Station Number** (Número de estación). Identifica el número de la estación seleccionada.
3. **Main Display** (pantalla principal). Indica varios tiempos, valores e información del programa.
4. **Year** (Año). Identifica el año actual.
5. **Month** (Mes). Identifica el mes actual.
6. **Day** (Día). Identifica el día actual.
7. **Running** (arranque). Indica cuando el riego esta funcionando.
8. **Day of the Week** (Día de la semana). Identifica los días de la semana para regar. Puede seleccionar los intervalos de riego que mejor le convengan.
9. **Odd/Even Watering** (Riego de las secciones). Indica si se esta regando una sección par o impar o a intervalos
10. **Interval** (Intervalo). Identifica si el riego esta programado por intervalos.
11. **Seasonal Adjust** (Ajuste). El porcentaje del ajuste estacional que a sido seleccionado, se desplaza a un incremento del 10%.
12. **Start time** (Hora de salida) - Identifica el tiempo de inicio (solo aparece en LCD) desplazamiento principal cuando el inicio del tiempo de riego es seleccionado.

B. Botones de control y los interruptores

1. + Botón. Incrementa la selección.
1.  Botón. Disminuye la selección.
2.  Botón. Avanza al siguiente.
3.  Botón. Regresa al anterior.
4.  Botón. Selecciona el programa A, B, C y D. También se utiliza para comenzar un ciclo del programa
5. **Rain Sensor Switch** (Interruptor del sensor de lluvia). Permite que el usuario puentee al sensor de tiempo si uno esta instalado.

6.  Estos botones se usan para ajustar la opción de una estación ya sea aumentar o disminuir

Una característica dominante del ICC es su diseño claro, fácil de utilizar del dial que hace la programación de un broche de presión. Todas las funciones esenciales del teclado numérico están marcadas claramente para eliminar la confusión que es una característica de muchos otros reguladores.

C. Funcionamiento del Dial

Run. Posición normal del dial para toda la operación automática y manual del regulador.

Set Current Date/Time. Da un plazo de tiempo de la fecha actual y del reloj para ser fijado.

Set Watering Start Times. Da un plazo de 1 a 8 horas de salida de ser permitido en cada programa.

Set Station Run Times. Permite que el usuario fije el tiempo de encendido de cada estación.

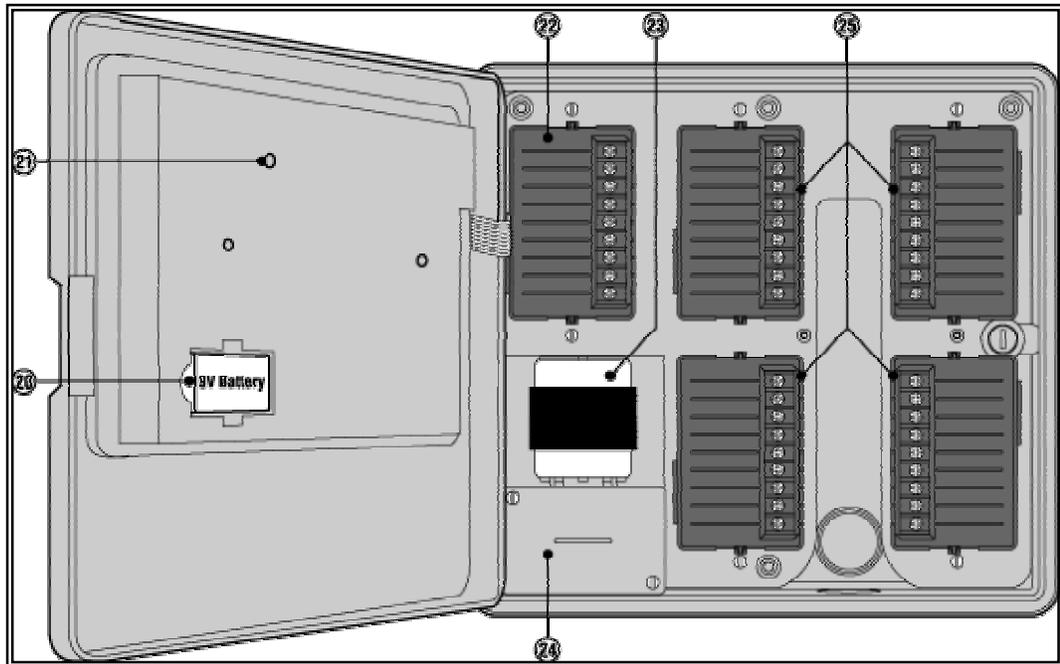
Set Days to Water. Permite que el usuario seleccione días individuales para regar o para seleccionar un horario de riego impar, uniforme, o de intervalo.

Set Pump Operation. Permite que la bomba no prenda en determinada válvula de una estación cuando esta regando toda el área.

Manual – Single Station. Permite que el usuario active el riego de una sola estación.

Manual – All Stations. Permite que el usuario active el riego de todas las estaciones o de algunas estaciones seleccionadas en el programa seleccionado.

System Off. Permite que el usuario continúe todos los programas y que pare todo al regar hasta que el dial se vuelve a la posición de arranque.

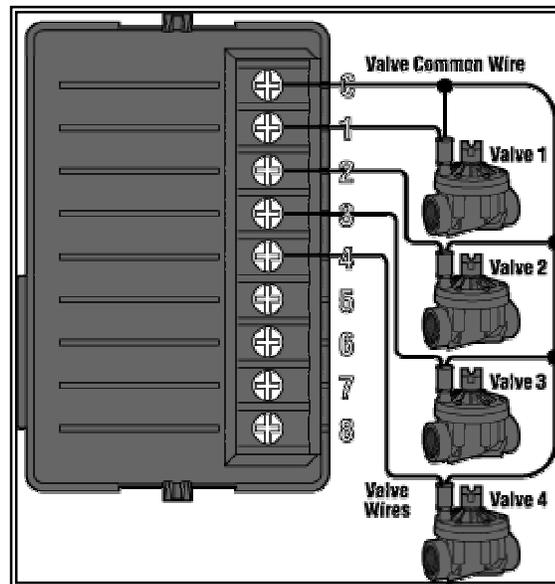


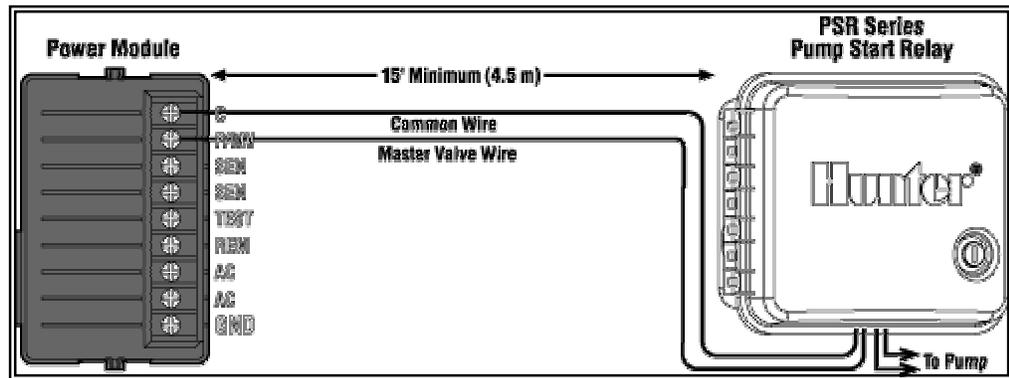
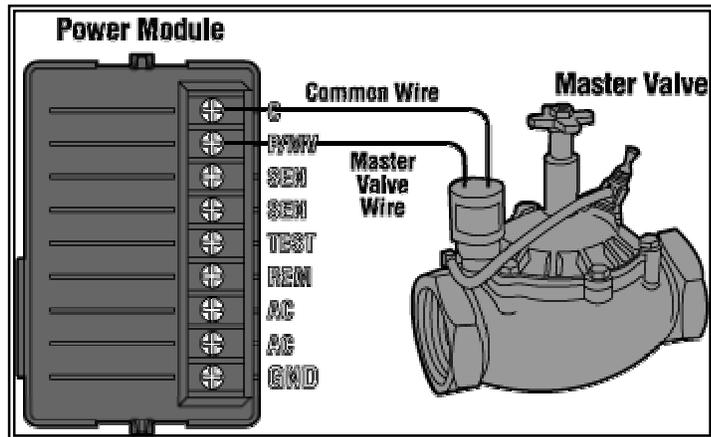
D. Partes del LCD

20. **9-Volt Battery.** Es una batería de 9 voltios que guarda el programa en caso de fallas eléctrica o si se llegara a desconectar el transformador.
21. **Reset Button.** Este botón recomenzará la computadora en caso de que haya fallas de la energía. No se perderá ningún dato del programa.
22. **Power Module Area.** Une el transformador, la válvula principal, y otros sistemas de la fuente al regulador.
23. **Transformer.** Un transformador está instalado en el regulador para encaminar la corriente alterna del cable de transmisión al área de la tira terminal y para moler el regulador.
24. **Junction Box.** Esta caja contiene una tira terminal para conexiones de energía de 115 voltios y de 230 voltios
25. **Station Modules.** Hay 4 (gabinete plástico) o 6 (gabinete del metal o del acero inoxidable) posiciones modulares dentro del regulador. Con la adición de 4 o 8 módulos del ICM de la estación, usted tiene la capacidad de funcionar donde quiera a partir 8 a 32 estaciones (gabinete plástico), y 8 a 48 gabinetes de las estaciones (metal y acero inoxidable).

CONEXIÓN DE LAS VÁLVULAS

1. los cables de la válvula van conectadas a la caja de control.
2. va un cable conectada a cada válvula solenoide. Cada válvula cuenta con un común o tierra que es de color blanco y el rojo que es la corriente. Todas las conexiones del empalme del cable se deben hacer usando los conectadores.
3. Abra la placa frontal con bisagras en el regulador para tener acceso al área de la tira terminal.
4. Encamine los cables de la válvula a través del conducto y del conducto al regulador en la abertura grande del conducto derecho del gabinete. Cada sección se puede quitar fácilmente
5. Pele 1/2"(13 milímetros) para el aislamiento de los extremos de todos los cables. Asegure que el cable común de la válvula al terminal (común) estén bien conectados en cualquiera de los módulos de la válvula o del módulo de la energía. Entonces una todos los alambres individuales del control de la válvula a los terminales apropiados de la estación.





Anemómetro opto electrónico

Instrumento que se utiliza para medir la fuerza (velocidad) del viento en Nudos (KT) o en Km. /hr.

Su funcionamiento se basa en tres cazoletas unidas a un brazo cada una, los cuales a su vez están unidos a un eje vertical interior que tiene incorporado en su extremo un disco, el cual al girar por efecto del viento, corta la emisión de luz de un diodo LED, esta interrupción es captada por un fototransistor que convierte estos giros en pulsos (frecuencia). Así, la velocidad del viento será directamente proporcional a la generación de una mayor o menor frecuencia.

Generalmente, este instrumento es instalado junto a una veleta opto

electrónica y conectado a un display digital o a una estación meteorológica automática.

CERTIFICACIÓN PARA LA FABRICACIÓN DE TUBO PVC.

Tuvo de PVC RD 21 y RD 26.

Gasket joints and solvent pipe

La certificación de los productos siguientes deben ser acorde con los fabricados por la compañía Texas United Pipe, se deben conocer los límites estándar y la regularización de las empresas como se indica:

Materiales: El material del tubo PVC usado en RD 21 y RD 26, producido por la compañía Texas United Pipe, deberá cumplir con la norma estándar ASTM D-1784 y ser aprobado por la Fundación Nacional de Sanidad establecido en la norma 14 y 61 para el uso de agua potable. El tubo se hace de PVC virgen especificado en el apartado 12454-B; la estabilidad hidrostática máxima designada es de 4,000 psi a una temperatura de 23° C (73.4 F). El código designado para el material termoplástico estándar es PVC 1120.

Tubo. Las dimensiones físicas y tolerancias para el RD 21 y RD 26 junto con los accesorios para el tubo fabricados por la compañía Texas United Pipe, están dentro de los requerimientos de las normas ASTM D-2241 y las normas de la Fundación Nacional de Sanidad 14 y 61. Especifican que debe de ser color blanco estándar.

Uniones y Lubricantes. En la compañía de Texas United Pipe, las uniones y lubricantes deben de ser compatibles con el material plástico, que en combinación de estos dos no produzcan efectos adversos en el agua potable. Los tubos que se fabrican al final tienen una campana con un aro de acero reforzado.

Marca. El tubo RD 21 y RD 26, de acuerdo a la norma estándar ASTM D-2241 el tubo debe llevar una descripción en el orden siguiente: diámetro nominal del tubo, tipo de material, peso del tubo, presión de operación, número designado por la especificación ASTM, código y nombre del fabricante y el sello de la Fundación Nacional Sanitaria para agua potable.

Según ASTM D-2241:

1. Las partes del tubo son homogéneas y libres de defectos visibles tales como agujeros, inclusiones exteriores y otros defectos.
2. Espesor de la pared, diámetro interno y método oval: ASTM D-2122.
3. Explosión rápida. Norma ASTM D-1599
4. Impacto. Norma ASTM D-2444
5. Calidad de extracción. ASTM D-2152.

Sustituyendo en ecuaciones para el cálculo del coeficiente de uniformidad de Christiansen:

$$UCC_{S1} = 1 - \frac{(316.2 - 9.03)}{(35 \times 316.2)} = 0.9722$$

$$UCC_{S2} = 1 - \frac{(307.6 - 8.54)}{(36 \times 307.6)} = 0.9730$$

$$UCC_{S3} = 1 - \frac{(288.1 - 8.00)}{(36 \times 288.1)} = 0.9722$$

$$UCC_{S4} = 1 - \frac{(244.8 - 6.80)}{(36 \times 244.8)} = 0.9722$$

Cuestionario para proyecto de un sistema de riego.

Lugar y Fecha.

Solicitante

Nombre Jorge Peart Tel.

Domicilio _____ Ciudad. Saltillo. Estado. Coahuila.

Nombre de la propiedad. “Casa Blanca” Ruta. Saltillo-Torreón. Km. 130

Camino de acceso. Parras de la Fuente Coahuila. Tipo. Pavimento y tercería.
Km. 125 y 5 respectivamente.

I. Recursos hidráulicos disponibles.

1. Fuente de abastecimiento, Arroyo ___ Lago ___ Pozo Prof. ___ Presa ___
Río ___.
2. Caudal de agua disponible. 4 litros por segundo.
3. Volumen de agua disponible 345.6 m³ de agua al día.
4. Tiempo en que se dispone de caudal. Siempre.
5. Variación de caudal del agua durante el año:
6. Ninguna _____ de _____ a _____.
7. Calidad o clase de agua I _____ II _____ III _____ Salina _____ Sódica
_____.
8. Descripción del pozo:
 - a. Profundidad. _____ Diámetro del ademe.
 - b. Descripción del material que constituye el acuífero.
 - c. El nivel estático se encuentra a 65m y el dinámico a 92m desde la superficie del suelo.
 - d. Aforo del pozo, hecho por
 - e. Fecha en que se realizó el aforo

II. cultivo o cultivos a irrigar.

Tipo de cultivo	Ciclo del cultivo en días	Superficie a irrigar en hectáreas.
Nogal		10

III. Condiciones climatológicas.

a. Velocidad y dirección de los vientos dominantes: 20 Km.-hr

b. Tipo de región climatologica: Clima calido seco.

IV. Descripción de los suelos

a. Tipo de textura del suelo: Arcilloso, arcillo-arenoso y arenoso.

b. Estructura del suelo. Buena Regular. Mala.

c. Profundidad del suelo;

d. Dibujar el plano del área a irrigar, indicando sus dimensiones en metros, sus distintos niveles, incluyendo el punto más alto; construcciones y espacios que no se deseen regar. Indicar también la fuente de abastecimiento del agua. Si la fuente de abastecimiento se encuentra fuera del área por regar, sírvase anotar a que distancia, en que dirección y a que nivel de altura se encuentra. Indique también caminos existentes, canales, postiería de energía eléctrica, edificios, obstrucciones y áreas que no se deseen irrigar.

V. Unidad de bombeo.

a) Tipo de bomba instalada. Bomba sumergible.

b) Tipo de energía que se emplea. Eléctrica trifásica 220

c) Marca y modelo de la bomba. Motor Franking electric

d) Capacidad del motor.

e) Especificaciones del banco de transformación. 75 KVA

f) Características del voltaje disponible: Volts. 13200

VI. Recursos humanos disponibles.

a) Se dispone del 1 hombre para operar el sistema.

b) Tiene máximo de operación por día: 24 horas

Firma

