

24/ 184



# Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ingeniería

## DISEÑO HIDRAULICO DE SISTEMAS DE RIEGO

T E S I S  
Que para obtener el Título de  
**INGENIERO CIVIL**  
p r e s e n t a  
**GRACIELA SOTO GOMEZ**



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

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

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-I-180

Señorita SOTO GOMEZ GRACIELA  
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Ing. Jorge Luis Lara González, para que lo desarrolle como TESTS para su Examen Profesional de la carrera de INGENIERO CIVIL.

"DISEÑO HIDRAULICO DE SISTEMAS DE RIEGO"

- I. INTRODUCCION
- II. USO CONSUNTIVO
- III. DISEÑO HIDRAULICO DE LOS SISTEMAS
- IV. SELECCIÓN DE ACCESORIOS PARA RIEGO
- V. CONCLUSIONES

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento con lo especificado por la Ley de Profesionales, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Coordinación de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, - el título del trabajo realizado.

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria, a 13 de agosto de 1986  
EL DIRECTOR

DR. OCTAVIO A. RASCON CHAVEZ

OARCH/GZM/ard.-

## INDICE

		Página
I	INTRODUCCION	1
II	USO CONSUNTIVO	4
II-1	FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL USO CONSUNTIVO	5
II-1.1	SUELO	5
II-1.2	CULTIVO	14
II-1.3	AGUA	15
II-1.4	CLIMA	28
II-2	METODOS PARA LA DETERMINACION DEL USO CONSUNTIVO	30
II-2.1	METODOS DIRECTOS	30
II-2.2	METODOS INDIRECTOS	36
II-2.3	METODOS DE MAYOR USO EN LA EVALUACION DEL USO CONSUNTIVO	52
III	DISEÑO HIDRAULICO DE LOS SISTEMAS	66
III-1	DESCRIPCION DEL PROYECTO	66
III-1.1	LOCALIZACION Y CARACTERISTICAS DEL DISTRITO, LA BEGOÑA, GTO.	66
III-1.2	OBTENCION DEL USO CONSUNTIVO	69
III-2	ELECCION DE LA FUENTE DE ABASTECIMIENTO	82
III-3	CALCULO HIDRAULICO	83
III-3.1	RIEGO POR ASPERSION	83
III-3.2	RIEGO POR GOTE0	110
III-3.3	EQUIPO DE BOMBEO	156
IV	SELECCION DE ACCESORIOS PARA RIEGO	182
IV-1	TUBERIAS	182
IV-1.1	TUBERIAS FIJAS	182
IV-1.2	TUBERIAS MOVILES	196
IV-2	ASPERSORES	200
IV-3	GOTEROS	205

IV-4	EQUIPO UTILIZADO EN EL PROYECTO MEDIANTE RIEGO POR ASPERSION	209
IV-5	EQUIPO UTILIZADO EN EL PROYECTO MEDIANTE RIEGO POR GOTEO	212
IV-6	TIPOS DE VALVULAS	214
IV-7	EQUIPO DE BOMBEO UTILIZADO	215
V	CONCLUSIONES	218

## I INTRODUCCION

La gran demanda de alimentos, originada por la explosión demográfica y la escasez cada vez más crítica del recurso agua ha originado la necesidad de producir más con el menor volumen. - Esta situación obliga a utilizar la mayor cantidad de tierra - posible, exigiendo el acondicionamiento de las zonas áridas y semiáridas, dotándolas del agua que requieren para ser cultiva bles. Podríamos decir que crea un miniclima que le permite pro porcionar a sus plantas la cantidad exacta de agua cuando y -- donde se necesita, sin depender de las condiciones naturales.

Desde la más remota antigüedad, el hombre conoce el primordi-- al papel que desempeña el agua en las relaciones entre las --- plantas, la luz, el calor y el riego; y por medio de este siem pre ha querido solucionar las dificultades provisionales o per manentes que pueden derivarse de la sequía, pero únicamente -- los terrenos llanos y bien situados podían entonces regarse -- por gravedad o superficialmente donde el agua es conducida por su propio peso.

La planificación moderna de la Agricultura tiene como meta la obtención del máximo rendimiento del suelo y de las plantas. - La Agricultura debe renovarse por sí misma, desechando métodos ancestrales e implantando nuevas técnicas que le permitan obte ner mayores rendimientos en beneficio de los agricultores y -- del país. En la actualidad también se utiliza el riego por bom beo, donde el agua es llevada a presión por medio de tubería. Siendo una de las principales técnicas la implantación de sistemas de riego por Aspersión y Goteo.

Estos sistemas son particularmente recomendables para el culti vo de hortalizas, frutales y en general, cultivos de alto rendimiento económico. Estos sistemas en la actualidad constitu - yen el medio, más seguro de protección contra las heladas.

El riego por aspersión que es totalmente independiente del suelo y del relieve, permite regar terrenos muy difíciles evitando además todas las degradaciones debidas a las corrientes de agua ya que esta es aportada al nivel mismo de la planta.

El sistema de riego por aspersión consiste de una red de tuberías interconectadas, con aspersores colocados a determinada distancia uno del otro, a fin de cubrir perfectamente el área que debe ser irrigada. Existen varios tipos de sistemas de riego por aspersión de acuerdo a la superficie que debe cubrirse y a la forma en que el sistema es instalado y operado.

Sistemas Portátiles

Sistemas Semipermanentes

Sistemas permanentes.

El riego por Goteo se utiliza en zonas áridas y semiáridas, en virtud del gran ahorro de agua que permiten, pudiendo así ampliarse las áreas de riego e incorporar a la producción agrícola las zonas montañosas, áridas y escasas de agua que forman una parte muy considerable del territorio nacional.

El sistema riega directamente en donde se encuentra la planta con la cantidad requerida de agua evitando los problemas de erosión de la tierra por escurrimiento.

Este sistema consiste fundamentalmente en la instalación de emisores ó goteros en una red de tuberías llamadas regantes, colocadas a una distancia determinada una de la otra y en una tubería de conducción, a través de las cuales fluye el agua.

El objetivo de este trabajo es presentar el desarrollo de un proyecto utilizando los dos sistemas.

En la primera parte se analiza el uso consuntivo que expone -- las relaciones existentes entre la planta, el suelo y el agua, que constituyen para ella el único medio de alimentarse y de desarrollarse, todo esto para permitir en una segunda parte calcular las necesidades de agua de los vegetales, principalmente -- en los períodos críticos de su desarrollo, en función de las -- condiciones climáticas particulares de cada región.

En la tercera parte se examinan las diferentes formas de obtener el agua necesaria y de emplear los materiales necesarios -- para cada sistema de riego como son; tuberías, aspersores, góteros y bombas. En la cuarta parte se hace una selección de -- accesorios y conexiones dado que el cálculo de los sistemas de riego por aspersión y goteo, en cada situación particular, implican el seleccionar conexiones requeridas y equipo accesorio. Finalmente se dan las conclusiones arrojadas de este trabajo.

Se define como Uso Consuntivo a la cantidad de agua consumida sin posible recuperación, para que las plantas - cultivadas se desarrollen completamente y maduren su cosecha; agua empleada por las mismas para transpirarla o acumularla en sus tejidos en diversas combinaciones, -- suspensiones o soluciones; o el agua que es evaporada a a la atmósfera directamente desde el suelo y que no puede conservarse o recuperarse, así el Uso Consuntivo - del agua para un período de tiempo considerado, será la cantidad promedio empleada por un cultivo entre riegos normales.

Uso del agua por la planta = Agua usada en la construc-  
ción de tejidos + Transpi-  
ración + Evaporación.

Transpiración.- se denomina transpiración al proceso por el cual el vapor de agua se desprende de las plantas vivas, principalmente de las hojas y pasa a la atmósfera - durante el período de desarrollo de un cultivo, hay un - continuo movimiento del agua de riego que pasa desde el suelo al interior de las raíces, sube por los tallos y - sale por las hojas de la planta. La velocidad de movi -- miento del agua a través de la planta varía de 0.3 a 1.8 m.p.h; pero en condiciones de temperatura excepcionalmen -- te altas, de atmósfera seca y de tiempo ventoso, esta velocidad puede aumentar enormemente. Las plantas retienen solo una pequeña parte del agua que absorben las raíces, si la velocidad de evaporación en las hojas excede la de absorción de las raíces, se pone en marcha el proceso de marchitamiento y el desarrollo del vegetal se va dificultando, la fuente de calor ideal para el vegetal mediante el fenómeno de transpiración es el sol.

Evaporación.- es el fenómeno mediante el cual el agua retenida por las hojas, así como la que existe en la superficie es evaporada. En muchas localidades existen zonas de suelos húmedos en los que la capa freática se halla - muy próxima a su superficie en estos casos la evaporación del suelo es casi igual a la de una superficie libre de agua, mientras que con niveles freáticos más profundos la evaporación disminuye hasta eliminarse, cuando la humedad no llega a alcanzar la superficie del suelo - por la acción de la capilaridad.

También se utiliza el término Evapotranspiración para determinar los dos últimos conceptos, considerando que son los más importantes, ya que el 99% del consumo del agua por la planta se debe a ellos, es decir, el Uso Consuntivo es igual a la Evapotranspiración ya que el agua utilizada por las plantas en la formación de los tejidos no - excede el 1% del total del agua empleada, asumiendo que la Evapotranspiración es la pérdida de agua en estado de vapor de un suelo cultivado hacia la atmósfera.

## II-1 FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL USO CONSUNTIVO.

Dentro del estudio que se realiza para la evaluación del Uso Consuntivo se incluyen una serie de factores que de cierta manera ayudan a la determinación del proceso de desarrollo vegetativo de las plantas así como también a la determinación del volumen de agua para el cultivo, - siendo estos factores: el suelo, el cultivo, el agua y - el clima.

### II-1.1 SUELO

Es un elemento muy importante que proporciona nutrientes a las plantas, sirve como depósito de sales minerales y agua que ayudan al desarrollo de la vida vegetal. Las características físicas del suelo permiten determinar el - volumen necesario y la frecuencia de riego para que la - planta no tenga problema de desarrollo por falta de agua.

Estas características nos indica la forma de almacenamiento del agua, del volumen que es capaz de retener y de la rapidez o lentitud del propio drenaje; las características mas importantes son:

### 1.1.1 Textura.

Límites de tamaño de las partículas que constituyen un suelo, interesándonos en este caso los suelos finos en los que sus partículas tienen tamaños menores a 2 mm, ya que estos son los aptos para la agricultura. Existen varios métodos para la determinación de la textura, pero los mas usuales son: El del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos que ha clasificado los tipos de suelo en grupos, tomando en cuenta los diámetros de sus partículas.

TABLA II-1 CLASIFICACION DE SUELOS.

GRUPO	CARACTERISTICAS	DIAMETRO (mm)
Arena	muy gruesa	2.00 a 1.00
	gruesa	1.00 a 0.50
	mediana	0.50 a 0.25
	fina	0.25 a 0.10
	muy fina	0.10 a 0.15
Limo		0.15 a 0.002
Arcilla		menor de 0.002

Otro método sería el del hidrómetro, se basa en el hecho de que la velocidad de sedimentación de partículas en un líquido es función de su tamaño. La ley fundamental de que se hace uso en el procedimiento del hidrómetro es debida a STOKES y proporciona una relación entre la velocidad de sedimentación de las partículas del suelo en un fluido y el tamaño de esas partículas, esta relación puede establecerse empíricamente haciendo observaciones por procedimientos teóricos, como la que obtuvo G.G. STOKES en 1850, una relación aplicable a una esfera que caiga en un fluido ho-

homogéneo de extensión finita, la ley de STOKES esta dada por la expresión:

$$V = \frac{2}{9} \frac{\gamma_s - \gamma_f}{\eta} \left(\frac{D}{2}\right)^2 \text{ -----2.1}$$

donde:

- V = Velocidad de sedimentación de la esfera (cm/seg)
- $\gamma_s$  = Peso específico del material (gr/cm<sup>3</sup>)
- $\gamma_f$  = Peso específico del fluido (gr/cm<sup>3</sup>)
- D = Diámetro de la esfera (cm)
- $\eta$  = Viscosidad del fluido (gr-seg/cm<sup>3</sup>)

1.1.2 Estructura.

Es el arreglo de partículas de material que conforman el suelo, indicando el volumen de aire y agua que permite en su interior (Fig. II-1), influye también en la penetración de la raíz y disponibilidad de nutrientes. Los suelos finos adoptan cuatro estructuras principales.

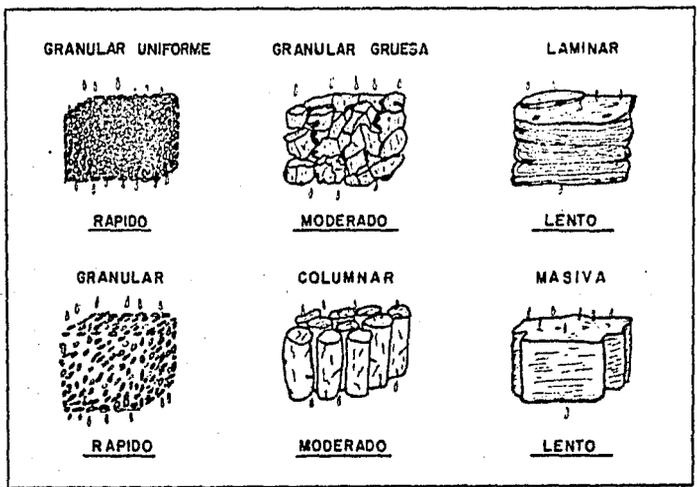


FIG. II-1 VELOCIDAD DE INFILTRACION DE LOS SUELOS EN FUNCION DE SU ESTRUCTURA

- Estructura Simple

Formada por la acción de la gravedad, su comportamiento esta en función de la capacidad relativa (grado de acomodo alcanzado por las partículas del suelo)

$$Cr(\%) = \frac{e_{\text{máx}} - e_{\text{nat}}}{e_{\text{máx}} - e_{\text{mín}}} \text{ ----- } 2.2$$

donde:

Cr = Compacidad relativa

$e_{\text{máx}}$  = Relación de vacíos correspondiente al estado mas suelto del suelo

$e_{\text{mín}}$  = Relación de vacíos correspondiente al estado más compacto del suelo

$e_{\text{nat}}$  = Relación de vacíos de la muestra en estado natural.

los suelos de compacidad relativa cercana a uno son menos -- permeables que aquellos con compacidad relativa próxima a -- cero.

- Estructura Floculenta.

Estructura filigranada de partículas muy finas, permite relaciones de vacíos, que son ocupados por el agua.

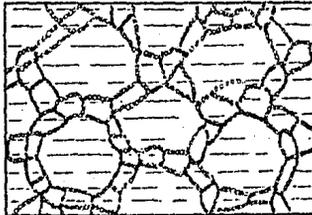


FIG. II-2 ESTRUCTURA FLOCULENTA.

- Estructura Panaloide

estructura típica en granos de pequeño tamaño del orden de - 0.002 mm. que son depositados normalmente en agua con sales permitiendo tener grandes cantidades de agua. Estas partículas por acción de la gravedad como fuerza eléctrica hacen -- que estas se junten formando panales, razón de su nombre.

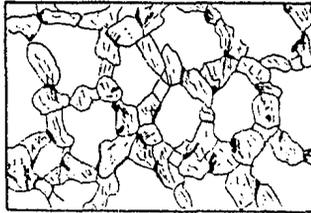


FIG. II-3 ESTRUCTURA PANALOIDE

- Estructura Compuesta

Es una combinación de las estructuras descritas anteriormente sin poder decir que es alguna de ellas



FIG. II-4 ESTRUCTURA COMPUESTA.

### 1.1.3 Fertilidad.

Es un concepto que indica lo rico o no de su suelo, en función de los compuestos minerales que absorbe la planta con el agua permitiéndole un mejor crecimiento, es importante conocer la riqueza y las carencias del suelo para dotarlo en sus necesidades, evitando así el saturar de algún compuesto mineral que pueda ser perjudicial al cultivo, la carencia de estos compuestos es posible suprimirla usando fertilizantes.

### 1.1.4 Salinidad.

Cantidad de sales minerales que posee el suelo, provenientes del agua de riego o propias del suelo. Importa no solo la cantidad de sales, sino el equilibrio de estas, evitando una salinización, a causa del exceso de riego o escasez de lluvia actuando en contra de la tierra, esta es la característica principal en zonas áridas y semiáridas.

### 1.1.5 Capacidad de retención del Agua.

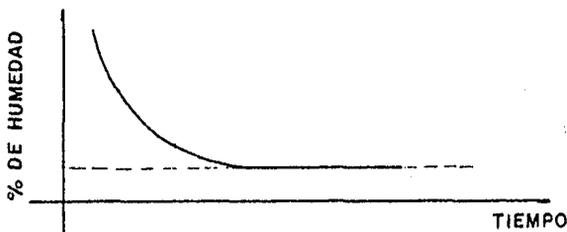
Es la cantidad de agua que pueda retener el suelo y será la que quedará a disposición de la vida vegetal. Con base en esto se puede determinar la cantidad de agua necesaria para el riego, sin exceder la capacidad de retención del suelo, evitando de esta manera pérdida de agua. Se recomienda en el caso de poca capacidad de retención usar riego de poco volumen y con mayor frecuencia a diferencia de suelos con capacidad grande. Para la determinación de esta se mencionarán parámetros tales como:

- Saturación.

Cuando todos los poros del suelo están llenos de agua, no existiendo partículas de aire en el interior del suelo.

- Capacidad de campo.

Indica el volumen de agua que retiene el suelo, una vez efectuado el drenaje, ayudado por dos fuerzas principalmente; tensión superficial y fuerza de absorción. La capacidad de campo se valua por medio de mediciones directas en campo o en el laboratorio, una medición sería la de muestrear directamente el suelo, determinando el porcentaje de humedad del suelo con respecto al peso seco y graficarlo, determinandose la capacidad de campo cuando la curva tiende a la horizontal.



En este método la muestra se pesa recién salida del muestreador y se rocía con alcohol, se enciende para pesarla al apagarse el fuego, dando por resultado el peso seco. Otro método que se usa en el laboratorio frecuente es el de COLMAN, consiste en obtener una muestra de material, la cual se expone al aire; se tamiza y se emplean 25 cm. de material, se colocan en un tubo de 30cm de largo con 2.5 cm. de diámetro, tapando en su parte superior con malla y papel filtro, a continuación se le agrega agua, dejando reposar un día para obtener una mayor infiltración, posteriormente se seca la muestra, obteniéndose así el valor de la humedad del tercio medio de la muestra, dando como resultado el valor de la capacidad de campo. Hay otros métodos de laboratorio pero son poco prácticos; también hay otros métodos aproximados como los que se utilizan en la tabla II-2 la cual se basa en la textura de la muestra

#### - Punto de marchitamiento

Indica el punto crítico del cual las raíces no pueden extraer agua del suelo a una velocidad suficiente, oca-

cionando marchitamiento de la planta. Para la evaluación del porcentaje de marchitamiento permanente se pueden emplear varios métodos; uno de ellos el más simple, es el de tomar una muestra de suelo y tomar el porcentaje de humedad en el momento en que la planta empieza a marchitarse. Existen métodos más elaborados y con mayor grado de aproximación, como es el método del girasol (invernadero), este procedimiento consiste en llenar botes de tierra con 500 gr. los cuales se fertilizan y se cultivan con semillas de girasol enano, cuando aparecen cuatro hojas se corta el suministro de agua, valuándose el porcentaje de marchitamiento como el porcentaje de humedad del suelo al inicio del marchitamiento de la planta. Otro método indirecto sería el de utilizar la tabla II-3 que se basa en la textura de la muestra.

TABLA II-2 EVALUACION DE LA CAPACIDAD DE CAMPO EN BASE A LA TEXTURA DE LA MUESTRA.

TEXTURA	CAPACIDAD DE CAMPO (en % de humedad)
Arena	5 a 15
Limo-Arenoso	10 a 20
Suelos francos	15 a 30
Limo-Arcilloso	25 a 35
Arcilla	30 a 70

TABLA II-3 EVALUACION DEL PORCENTAJE DE MARCHITAMIENTO PERMANENTE EN BASE A LA TEXTURA DE LA MUESTRA

TEXTURA	PORCENTAJE DE MARCHITAMIENTO PERMANENTE (en % de humedad)
Arena	3 a 8
Limo-Arenoso	6 a 12
Suelos francos	8 a 17
Limo-Arcilloso	13 a 20
Arcilla	17 a 40

#### 1.1.6 Profundidad

Este factor indica la profundidad del suelo que corresponde al espacio en donde la planta puede extraer agua sin problemas, es importante ya que un suelo que permite un buen desarrollo a la raíz con un desarrollo normal de la misma, permite un almacenamiento adecuado, ca si siempre los límites de la profundidad son capas de material compacto o roca, razón por la que limitan la capacidad de retención de agua.

#### 1.1.7 Nivel freático

Es el nivel donde se encuentra localizado lo que se conoce como agua subterránea, es decir, es un índice que permite conocer la profundidad en la que el suelo se encuentra saturado.

## II-1.2 CULTIVO

Son las características propias de la planta que se deben tomar en cuenta en el Uso Consuntivo, como son:

### 1.2.1 Especie

Se refiere a la diferencia que existe entre plantas, en la constitución propia de la planta, en su funcionamiento, en la formación de los tejidos y en su raíz. Conocidas estas características se puede determinar el tipo de riego más adecuado, definiéndose también la zona en donde se desarrolla mejor en función de los requerimientos de sales minerales.

### 1.2.2 Variedad

Es una subdivisión de la especie que es muy importante conocer, ya que las distintas variedades pueden dar lugar a una modificación de la época de cultivo, reducir el volumen de agua etc., factores que son tomados en cuenta para obtener una mejor distribución de los cultivos en las distintas épocas del año.

### 1.2.3 Ciclo vegetativo

Es el tiempo en el que el producto alimenticio cubre todas las etapas de crecimiento, su importancia es la de estimar el tiempo que tardará en dar fruto y las necesidades de riego que hay que cubrir a lo largo de su ciclo.

### 1.2.4 Fase de desarrollo

Es una serie de cambios por etapas, de los aspectos sucesivos de crecimiento de las plantas en desarrollo, tomando en cuenta que cada uno de los cultivos tienen sus propias fases de desarrollo en función de sus características.

Indica el funcionamiento de las diferentes componentes de una planta, por ejemplo, la raíz que es una parte - muy importante, que indica la profundidad a la que la humedad es aprovechable por la planta.

## II-1.3 AGUA

Es el elemento más importante que ocupa el problema -- central en su relación con la planta, es importante co nocer la manera como se usa, así como la cantidad que se proporciona para la cual se requiere conocer.

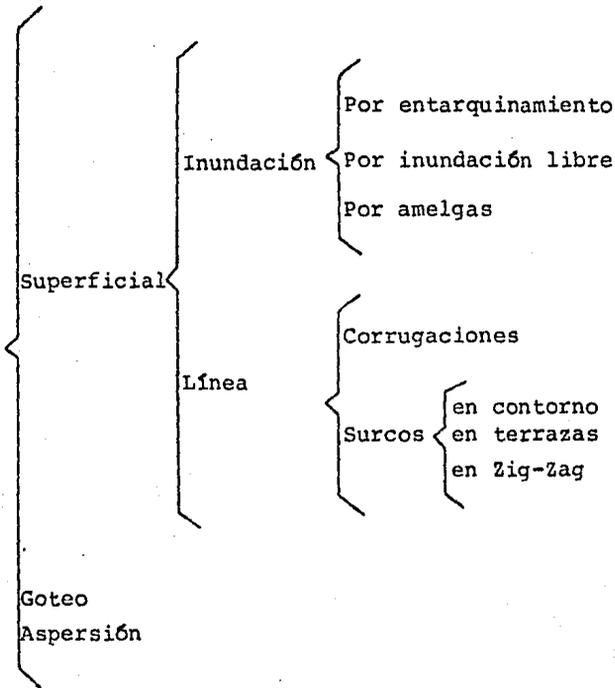
### 1.3.1 Disponibilidad

Es la cantidad o volumen de agua con que cuenta una superficie determinada para cubrir las necesidades de rie go, este volumen disponible influye en la determinación del cultivo, es decir, no todos los cultivos requieren la misma cantidad de agua para su riego.

### 1.3.2 Prácticas de riego.

Para obtener un método de riego apropiado, se debe de - tomar en cuenta los conceptos básicos que están en función de la Topografía, características del suelo, agua, de la relación agua-suelo-cultivo y de las característica s físicas de la planta, mismas que hacen ineficiente algún método de riego.

## METODOS DE RIEGO



Los métodos de riego superficiales pueden ser clasificados en dos formas, la primera clasificación se hace con respecto a la superficie del suelo que es inundada por el agua y la segunda clasificación es en función de la velocidad del agua.

Entre los métodos de primera clasificación en donde el agua prácticamente está en reposo contamos con los estanques siguiendo curvas de nivel, los cuales son denominados con riego por entanquinamiento. En el grupo don

de se inunda toda la superficie del suelo y el agua se encuentra en movimiento tenemos; la inundación libre y por amelgas.

Los métodos de riego que solo inundan parcialmente la superficie del suelo son fundamentalmente los surcos; el agua se encuentra en reposo solamente en los surcos entarquinados y el agua se mueve sobre la superficie del suelo en los surcos en Zig-Zag.

- Riego por Entarquinamiento

Este método es el más ampliamente utilizado para el riego de los cultivos, en donde se divide el terreno en pequeñas superficies de tal manera que cada una de ellas sea aproximadamente plana y se construyen bordos al rededor de estas áreas para contar con estanques donde el agua de riego puede ser controlada, se llenan los estanques con la cantidad de agua deseada y el agua permanece en la superficie del suelo hasta que se infiltra totalmente o el exceso es drenado.

Este método no es utilizado para cultivos sensibles o escasos de humedad. Las medidas de los estanques varían desde 1 m<sup>2</sup> hasta 7,5 Ha, estos estanques se pueden construir en terrenos con pendientes menores al 2% con un mínimo de nivelación de tierras. Si la pendiente del terreno es muy pronunciada, es necesario construir terrazas niveladas en las que los estanques pueden ser formados.

Los bordos temporales son normalmente de 60 a 120 cm de base y tienen una altura ya asentados de 15 a 30 cm. Cuando sea posible, los bordos permanentes deben ser contruídos uno o dos meses antes de ser utilizados, de manera que el suelo se pueda asentar antes de que el agua sea introducida en los estanques.

Las desventajas del método es que los bordos interfieren con el mov. de la maquinaria agrícola, además por lo plano de la superficie de los estanques es difícil obtener un drenaje rápido del exceso de agua lo cual es un problema en suelos arcillosos con baja infiltración, los suelos muy permeables deben ser llenados rápidamente, lo cual generalmente requiere el llenado de estanques individuales con grandes gastos.

- Riego por inundación libre.

En este método de riego el agua es aplicada al suelo sin contar con bordos que guíen el movimiento del agua sobre la superficie del suelo, el agua se descarga al terreno usando estructuras igualmente espaciadas en una regadera con poca pendiente, la cual se construye en el extremo alto del terreno, el agua fluye libremente sobre la superficie del suelo en el sentido de la pendiente, regando de esta manera los suelos que cubren al desplazarse. Se instalan bordos distribuidos en la parte baja del terreno para coleccionar el agua que tiende a concentrarse en las partes bajas y redistribuirla en forma más uniforme.

El método es empleado fundamentalmente para el riego de cultivos poco remunerativos en terrenos con pendientes fuertes, donde la uniformidad en la distribución del agua no es muy importante, también es utilizado en suelos de textura pesadas con topografía accidentada, y en regiones donde existe una gran abundancia de agua y está muy barata.

- Riego por amelgas.

Hace uso de bordos paralelos que guían a la lámina que se mueve en el sentido de la pendiente, al terreno entre 2 bordos adyacentes se denomina amelgas, las cuales pueden variar en ancho entre 3 y 30 metros y en -

largo entre 100 y 800 metros.

19

Los suelos profundos de texturas medias y permeables -- son ideales para el riego con este método cuando se cultivan plantas de raíces profundas como la alfalfa, frutales y viñedos. También es apropiado este método en terrenos con superficies mayores a 4 Ha.

La infiltración es muy importante, ya que el agua se está moviendo constantemente en la superficie de las amelgas, la velocidad deberá ser regulada con el gasto.

La pendiente en la dirección del flujo debe ser uniforme o disminuir un poco, el aumento de la pendiente debe ser evitada ya que ocasiona que el flujo del agua no sea uniforme. Se recomienda que los primeros y últimos 20 m de la amelga no tenga pendiente, esta práctica se justifica en un suelo permeable con buenas condiciones de drenaje.

Generalmente se usan anchos de las amelgas entre 15 y 20 metros en terrenos planos. Con pendientes entre 0.3 y 0.4 % en pendientes mayores a 0.5 % el ancho debe limitarse a 6 u 8 metros. En cuanto a la longitud de la amelga puede ser hasta de 800 metros en suelos con muy bajas infiltraciones, para suelos muy permeables se debe escoger una longitud de amelga de 100 metros.

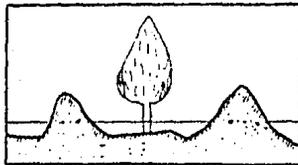


FIG. II-5 RIEGO POR AMELGAS.

En este método el agua fluye en pequeños surcos denominados corrugaciones, los cuales encauzan el flujo en el sentido de la pendiente. Se usa en cultivos muy juntos tales como los granos, alfalfa y pastos. El riego por corrugaciones difiere del riego por surcos en que no existen camas elevadas para plantar los cultivos. Las corrugaciones son canales en forma de "U" o "V" de aproximadamente de 40 a 75 cm.

Este método es apropiado en suelos con textura de migajón limoso o migajón arcilloso, en los cuales el movimiento lateral del agua es rápido.

Las corrugaciones deberán ser hechas siempre en la dirección de la máxima pendiente; si las corrugaciones se trazan a nivel, el gasto de las corrugaciones bloqueadas fluirá hacia las adyacentes de nivel inferior, pudiéndose dar el caso de que se exceda la capacidad de las corrugaciones y estas se rompan, dando lugar a concentraciones de agua que escurrirían en el sentido de la máxima pendiente erosionando el terreno. Por tanto, las corrugaciones deben ser hechas siempre en la dirección de la máxima pendiente, como ya se indicó.

El flujo del agua está gobernado por las mismas normas que rigen en los surcos.

En este método se introduce el agua desde las regaderas por medio de sifones generalmente.

- Riego por Surcos.

El riego por surcos se realiza al escurrir el agua en pequeños canales denominados surcos, en los cuales el agua se infiltra al mismo tiempo que se mueve en el sentido de la pendiente.

Uno de los requisitos indispensables para usar este método es el de tener en el sentido de riego una pendiente uniforme.

En contraste con los métodos de inundación, en el riego por surcos no se moja la superficie total del suelo, por lo tanto, para obtener un riego eficiente se depende del movimiento lateral del agua en el suelo, el movimiento lateral del agua no solo es importante con respecto al hundecimiento del suelo, sino que también es muy importante con respecto al movimiento de las sales solubles, fertilizantes y herbicidas que son acarreados por el agua. La sección transversal del surco debe ser de suficiente capacidad para que pase el gasto necesario por aplicar. La sección transversal mas utilizada para surcos es la "V" tales surcos son generalmente de 15 a 20 cm de profundidad y de 25 a 30 cm de ancho, normalmente tienen 3 lts/seg. de gasto.

El espaciamiento de los surcos dependerá del cultivo, del tipo de maquinaria utilizado y de los patrones de mojado que se obtenga con el movimiento lateral del agua en el suelo.

Se necesita una pendiente para lograr un gradiente que provoque el movimiento del agua. El agua puede ser aplicada más eficientemente en los surcos que tienen una pendiente uniforme.

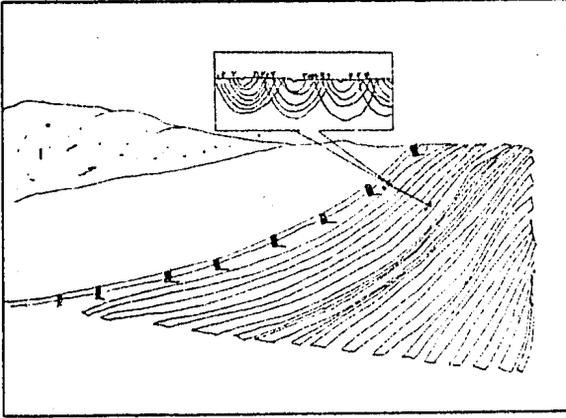


FIG. II-6 RIEGO POR CORRUGACION.

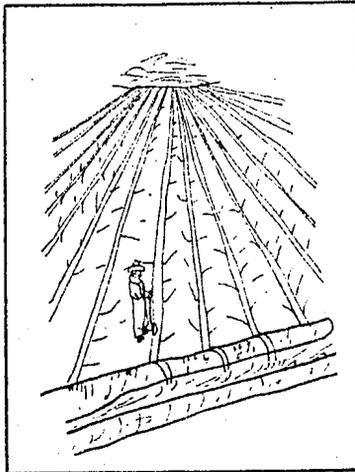


FIG. II-7 RIEGO POR SURCO.

La clasificación de la forma de los surcos es la siguiente:

- A) Surcos en Contorno
- B) Surcos en Terrazas
- C) Surcos en Zig-Zag

A) Surcos en Contorno.- En los terrenos en donde la topografía es muy accidentada no es posible utilizar surcos rectos con pendientes uniformes, en tales casos los surcos son trazados con una pendiente predeterminada y la dirección es fijada por la topografía. Es conveniente que el trazo de los surcos no tengan curvas con radios menores a 10 metros.

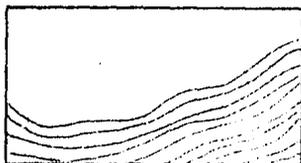


FIG. II-8 SURCOS EN CONTORNO

B) Surcos por Terrazas.- En terreno donde la topografía es muy fuerte para el riego por surcos en contorno, se puede hacer una nivelación en pequeñas franjas donde los surcos puedan ser construidos, el suelo deberá ser suficientemente profundo para permitir la nivelación, los suelos con pendientes hasta de 25% pueden ser nivelados en terrazas para permitir la producción de cultivos. El ancho de la terraza dependerá de la pendiente general del terreno.

C) Surcos en Zig-Zag.- Para aumentar la longitud del agua, en algunos casos se utilizan surcos que no son rectos, especialmente para el riego de frutales y viñedos, el aumento de la longitud reduce la pendiente y por lo tanto la velocidad del agua, esto ocasionará un aumento en la infiltración.

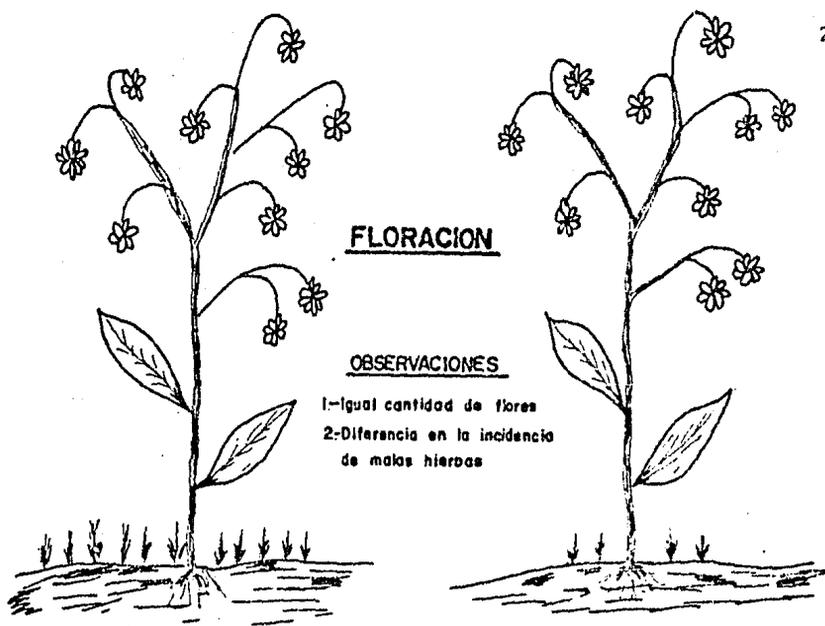
En el método de riego por goteo el agua se conduce por el lote a través de una red de tuberías, y se aplica al suelo por medio de emisores especiales o "goteros".

El agua requiere una carga hidráulica que se suministra con equipo de bombeo o con un tanque elevado. Este es un método recomendado para lugares en donde se tiene una gran escasez de agua ya que esta sólo se aplica en las zonas de las raíces, también está indicando donde no abunda la mano de obra o bien tiene un costo muy elevado. Otra ventaja consiste en que la periodicidad de los riegos puede llegar a ser diaria, ya que basta poner en funcionamiento el equipo de bombeo o abrir una válvula para que el agua circule por las tuberías y se efectúe el riego. Otras ventajas de este sistema son las siguientes:

- A) Uso de pequeños gastos
- B) Empleo de aguas con alta concentración salina
- C) Aplicación de láminas mínimas
- D) Aumento de rendimientos
- E) Mejor calidad de frutos (Fig. II-9)
- F) Eliminación de la erosión en el suelo y el ahorro de trabajos de acondicionamiento y preparación de tierras, laborales agrícolas, y de fertilizantes.

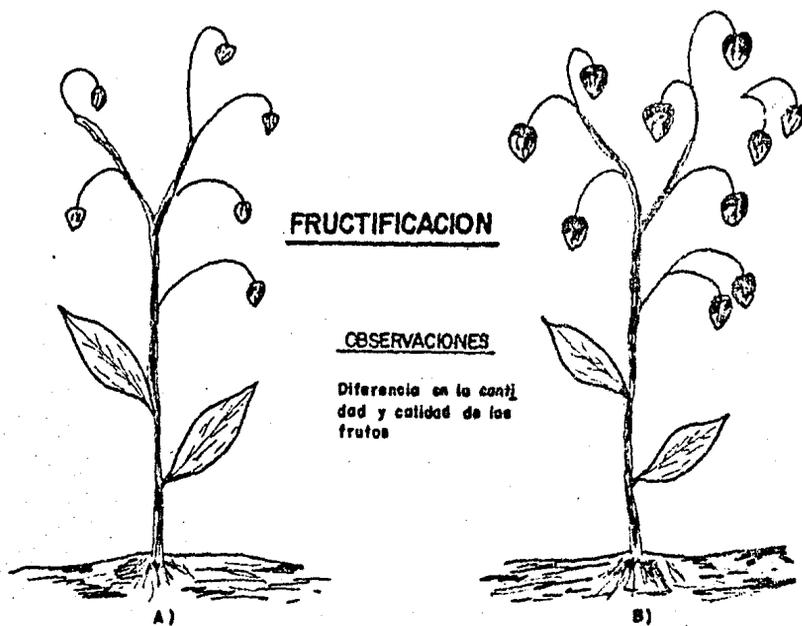
- Riego por Aspersión

El riego por aspersión se usa en casi todos los tipos de suelos, este procedimiento de riego puede ser la única manera de regar en forma satisfactoria donde los suelos tengan una velocidad de infiltración alta, fuertes pendientes, para profundidad o topografía irregular.



A) Cualquier método convencional de riego

B) Riego por goteo



A)

B)

FIG. II-9 COMPARACION DE FLORACION Y FRUCTIFICACION ENTRE CUALQUIER METODO CONVENCIONAL Y RIEGO POR GOTEO

En cualquier sistema de aspersión, con aspersores giratorios, deben inspeccionarse siete factores para determinar hasta que punto son adecuadas el diseño y la operación y que ajustes se requieren en la disposición establecida.

- 1.- Grado de Aplicación.- El agua no debe ser aplicada con mayor velocidad que aquella con la que el suelo puede absorberla, pero a la vez, esta aplicación deberá ser lo bastante rápida para prevenir pérdidas excesivas por evaporación.
- 2.- Lámina Aplicada.- La cantidad de agua aplicada durante un riego no debe ser más grande que la lámina más ligera necesaria para llenar la zona radicular a su capacidad de campo.
- 3.- Capacidad del Sistema.- El equipo deberá ser capaz de surtir humedad al suelo en una cantidad por lo menos igual al consumo máximo del cultivo.
- 4.- Uniformidad de la Aplicación.- El agua debe aplicarse tan uniformemente como sea posible y la práctica lo permita; el punto de aplicación más lejano debe haber recibido comunmente por lo menos, el 80% de la aplicación promedio en el campo.

La uniformidad de aplicación se ve afectada por diferencias en la descarga de los aspersores individuales a lo largo del lateral y sobre laterales diferentes.

También se ve afectada por la uniformidad de la distribución de la aspersión dentro del área efectiva de cada aspersor individual.

- 5.- Pérdidas de Agua.- La pérdida más grande de un diseño correcto y una óptima operación del sistema de aspersión, se debe a las fluctuaciones en la dirección e intensidad del viento, entre la boquilla del aspesor y la superficie del suelo, también influyen en dichas pérdidas el tamaño de las gotas y el grado de aplicación. Se considera que para tener un uso eficiente del agua, tales pérdidas no deben ser mayores de 10 o 15% del gasto que fluye a través de las tuberías del Sistema de riego por aspersión.
- 6.- Tamaño Económico de la Tubería.- Los diversos tamaños de la tubería usada, deben ser de tal magnitud que exista balance económico entre los costos de ellas y el costo de la energía usada para impulsar el agua.
- 7.- Daños a los Cultivos.- El agua debe aplicarse de tal forma que no produzca daños físicos al cultivo, se sugiere el siguiente procedimiento para llevar a cabo la evaluación de un sistema de riego por aspersión.
- A) Se determina el modelo de la distribución del agua sobre el área efectiva, entre dos aspersores de un lateral.
  - B) Se determina la cantidad de agua necesaria para llevar a la zona radicular a su capacidad de campo.
  - C) Se lleva a cabo un inventario de las partes del sistema de riego por aspersión y se determina el procedimiento de operación.
  - D) Se comprueban en el campo las características del sistema operado.

- E) Se analizan los datos obtenidos.
- F) Se hacen recomendaciones para modificar el diseño o introducir cambios en la operación del sistema, si fuera necesario.

### 1.3.3 Eficiencia de Aplicación de Riego.

La eficiencia permite cuantificar el aprovechamiento - riego, ésta eficiencia se puede valorar por la siguiente ecuación.

$$E_p = \frac{L_{pr} + L_e}{L_d} \quad \text{-----} \quad 2.3$$

donde:

- $E_p$  = Eficiencia parcelaria  
 $L_{pr}$  = Volumen retenido en el suelo  
 $L_e$  = Volumen de agua para lavado  
 $L_d$  = Volumen de agua proporcionado.

## II-1.4 CLIMA

Este es el más variable de los factores mencionados debido a que se basa en procesos naturales que son indispensables, pero sin embargo es posible determinar las características que influyen.

### 1.4.1 Temperatura.

Es muy importante, ya que influye en el volumen de riego, en el tipo de cultivo, en la rapidez o lentitud de los cultivos, etc. La temperatura esta ligada a la: radiación solar permitiendo la mayor o menor rapidez de-

la evaporación, al ciclo vegetativo que permite determinar los tipos de cosechas que serían más prácticos y a la evaporación que toma un papel principal en su evaluación. En algunos lugares se utiliza el sistema de riego por aspersión con el fin de abatir la temperatura, obteniendo una mejor cosecha.

#### 1.4.2 Fotoperíodo.

El tiempo en que se cuenta con luminosidad natural, que a lo largo del año es variable, en función de la latitud ya que es conocido el movimiento de la trayectoria del sol con respecto a la tierra, permitiendo mayor luz a la zona ecuatorial. Es la razón por la que determinadas -- plantas crecen en determinados países en diferentes épocas, sin lograrse en otras zonas.

#### 1.4.3 Calor Aprovechable.

Cantidad de calor que la planta necesita para su óptimo desarrollo. Influye en el sol y la temperatura media ambiente, ya que existe zonas calientes a causa de la topografía.

#### 1.4.4 Precipitación.

Es la cantidad de agua que en distintas formas (lluvia, granizo, rocío, etc.) recibe la superficie. La precipitación está en función de la intensidad con que se presenta, y es un elemento fundamental para hablar de riego.

#### 1.4.5 Vientos.

El viento en cierta forma actúa de manera contraria al -- Uso Consumitivo, ya que favorece a la evaporación del -- agua en el suelo, este fenómeno se presenta más rápido -- si existe aire, mientras que en estado de calma solo es afectado por la temperatura. También el viento es muy im -- portante en la precipitación, permitiendo la concentra --

ción de humedad para lograr así la condensación que se convertirá en lluvia.

## II-2 METODOS PARA LA DETERMINACION DEL USO CONSUNTIVO

Hay una gran variedad de métodos, basándose en experiencias de campo o en teorías experimentales, clasificándose en:

- Métodos Directos
- Métodos Indirectos.

Los Métodos Directos.- Determina el volumen de agua necesaria para el cultivo por medio de la experimentación en Campo, la manera de emplear este método es posible transportar la a otra región con condiciones diferentes, dando resultados diferentes, ya que se trabaja con las condiciones propias de una Localidad, condiciones difíciles de encontrar en otra región.

Los Métodos Indirectos.- Dan relaciones empíricas que permite valuar el Uso Consuntivo. Este método se basa en resultados y experiencias proporcionadas por los métodos Directos. Cuando no se pueden realizar experimentos de campo, se puede transportar de una región a otra tomando en cuenta las limitaciones en que se apoya la teoría.

Lo importante de estos métodos es la manera de relacionar los diferentes parámetros que influyen en el Uso Consuntivo

### II-2.1 METODOS DIRECTOS.

#### 2.1.1 Lisímetro.

Este método es muy antiguo, y mediante el avance tecnológico ha ido sufriendo modificaciones. Consiste en colocar una

cantidad de Suelo con un tipo de cultivo sobre un tanque - tomando diariamente el volumen excedente del cultivo, la - diferencia es el volumen aprovechado por la planta, dependiendo de su función los lisímetros se clasifican en: lisímetros de drenaje que miden la percolación del agua a través del Suelo, haciendo uso de sistemas para la recuperación de los volúmenes excedentes de agua y los lisímetros de Pesada que determinan el volumen de agua aprovechado mediante la observación de cambios de peso sufridos por el tanque con suelo. Existe una variedad de lisímetros con diferentes características como son; el lisímetro de PRUITT, consistente en un tanque cilíndrico con 6 m de diámetro y 95 cm de profundidad, colocado al mismo nivel del piso, re lleno de tierra cultivada y reposando sobre una báscula - que va tomando los pesos sufridos, conociendo de ésta manera el agua aprovechada (lisímetros de pesada).

Lisímetro enterrado o llamado también como tanque evapo -- traspirómetro consistente en un tanque con paredes laterales y profundidad apropiada para la percolación, proporcionando buenos resultados cuando se llena por capas, tratándose de apegarse a las condiciones reales del terreno que se está estudiando.

Otro es el lisímetro Ebermayer, este no tiene paredes laterales dejando el terreno en forma natural, solo se tiene un percolador a cierta profundidad para determinar los volúmenes excedentes, es poco confiable este método ya que no se toma en cuenta la influencia del resto de suelo, pudiendo alterar los volúmenes excedentes motivado por el flujo hacia el exterior antes de llegar a la zona donde se puede valuar el gasto excedente.

El uso de lisímetro no se puede aplicar a todos los cultivos, ya que muchos desarrollan raíces mayores de 90cm. a

los cuales les queda chico el tanque, o también desarro - llan mucho su tallo reduciendo de ésta manera el número de plantas, otro inconveniente es debido al drenaje ya que se hace subterráneo ocasionando una concentración de raíz en las entradas de agua, impidiendo que todas las plantas ten gan el mismo crecimiento.

### 2.1.2 Integración:

Valúa la transpiración de la Capa Vegetal que cubre la su - perficie en observación, siendo esta evaluación de manera parcial, considerando los diferentes componentes (los cul - tivos, la vegetación espontánea y la tierra no cultivada) de dicha capa vegetal.

Para ser posible esto es necesario conocer los consumos de agua por unidad de área y para cada componente; determinan do con ello la transpiración y la evaporación, una vez co - nocido este consumo de agua se puede calcular la lámina de riego apropiada en función del tiempo. Esto es logrado por medio de fotogrametría y levantamientos topográficos, con - estos dos estudios es posible elaborar las curvas de trans - piración diaria de los cultivos, apoyándose en el método - gravimétrico que da la variación de la humedad en las dife - rentes capas que componen el suelo.

### 2.1.3 Entradas y consumo de agua.

Basándose en los volúmenes de agua que circulan en una - - cuencia en forma anual, determinándose el consumo de agua - mediante la ecuación de balance:

$$V = (I-P) + (G_s - G_e) - R \quad \text{----} \quad 2.4$$

donde:

V = Consumo de agua (m<sup>3</sup>)

- I = Volumen de agua que entra a la cuenca anualmente ( $m^3$ ).
- P = Precipitación anual en la cuenca ( $m^3$ )
- Gs = Agua subterránea acumulada en la cuenca al inicio del año.
- Ge = Agua subterránea acumulada en la cuenca al final del año.
- R = Volumen de agua saliente de la cuenca en el año. ( $m^3$ ).

Haciéndose despreciable la diferencia de agua capilar entre el principio y final del año.

#### 2.1.4 Aerodinámico.

Se basa en el cálculo de la velocidad de difusión del vapor de agua principalmente cuando es motivado por la turbulencia, este requiere de la medición del viento a dos alturas diferentes o que se incluya un parámetro de evaluación para una altura determinada, siendo dispensable determinar los siguientes parámetros:

- Transferencia de Momento.
- Vapor de Agua
- Calor
- Bióxido de Carbono.

#### 2.1.5 Dalton.

Evalua la evaporación en superficies acuosas, utilizando la siguiente ecuación:

$$E_o = (e_s - e) f(u) \text{ -----} 2.5$$

donde:

$E_o$  = Evaporación de una superficie acuosa (mm/día)

$e_s$  = Presión de vapor en la superficie evaporante (figII-(O))

$e$  = Presión de vapor a una altura dada sobre la superficie en milibares

$f(u)$  = Función de la velocidad horizontal del viento.

$f(u) = (a+bV_2)$  -----2.6

$V$  = Tiempo promedio de la velocidad del viento.

$a$  y  $b$  = Constantes experimentales.

El método es factible aplicado en otras superficies evaporantes como en una zona de riego; pero en zonas cultivadas no se ha aplicado debido a la dificultad en la evaluación de la presión de vapor en la superficie.

#### 2.1.6 Balance de Energía.

Consiste en determinar fuentes de energía y sus reducciones, dejando como incógnita la energía que produce la evaporación apoyándose en que la evaporación es un cambio de estado motivado por una cantidad de energía que es calor de vaporización.

#### 2.1.7 Combinado.

Es una combinación de Dalton y de los métodos de Balance de Energía, de este último se utiliza la estimación de la temperatura superficial, mientras que de Dalton utiliza la evaluación de la presión de vapor superficial. Esta combinación fué desarrollada por Penmann y Mc. Ilroy-Slatyer, utilizando las siguientes ecuaciones:

$$K = h (T_s - T_z) \quad \text{-----} \quad 2.7$$

$$LE = \frac{h}{\gamma} (e_s - e_z) \quad \text{-----} \quad 2.8$$

donde:

$h$  = Velocidad del viento entre nivel cero y altura  $Z$ .

$T_s$  = Temperatura de la superficie

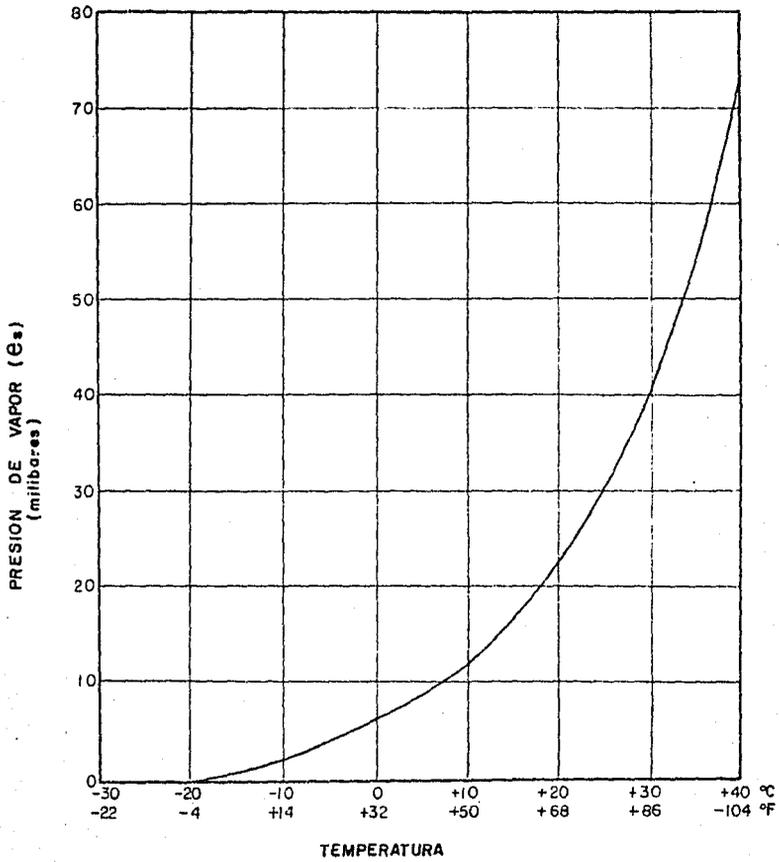


FIG. II-10 RELACION ENTRE TEMPERATURA DEL AIRE Y PRESION DE SATURACION

$T_z$  = Temperatura a la altura  $Z$

$\gamma$  = Constante psicrométrica

$e_s$  = Presión de vapor actuante en la superficie

$e_z$  = Presión de vapor actuante a la altura  $Z$

Este método combinado tiene la ventaja de que los valores calculados de Evapotranspiración son más apegados a la realidad.

## II-2.2 MÉTODOS INDIRECTOS.

### 2.2.1 Penmann.

Da la relación entre Evapotranspiración y la energía solar recibida. Se parte de que los procesos de transpiración y evapotranspiración tienen como factor dominante la energía consumida. Tomando en cuenta la latitud, el día, el año y la radiación solar total incidente sobre la superficie horizontal, de esta el 40% lo absorbe la superficie terrestre, el 43% refleja en el espacio y el 17% lo absorbe la atmósfera. La radiación absorbida por la superficie terrestre ( $R_1$ ) se puede determinar en función de la radiación solar total, quedando de la siguiente manera:

$$R_1 = R_a a + b \frac{n}{N} \quad \text{--- 2.9}$$

donde:

$R_a$  = Radiación solar total (cal/cm<sup>2</sup>- día) ver tabla II-4 y figura II-11

$\frac{n}{N}$  = Duración real de la luz brillante del suelo con respecto del valor teórico correspondiente a cielo despejado.

$a$  y  $b$  = Constantes empíricas, para latitudes tropicales. Prescott le da los siguientes valores.

$$a = 0.25$$

$$b = 0.55$$

TABLA II-4 INTENSIDAD MEDIA MENSUAL DE LA RADIACION SOLAR  
( $R_a$ ) SOBRE UNA SUPERFICIE HORIZONTAL.  
(mm de agua/día)

## HEMISFERIO NORTE.

	90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°
Enero	---	---	---	1,3	3,6	6,0	8,5	10,9	12,8
Febrero	---	---	1,1	3,5	5,9	8,3	10,5	12,3	13,9
Marzo	---	1,8	4,3	6,8	9,1	11,0	12,7	13,9	14,8
Abril	7,9	7,8	9,1	11,1	12,7	13,9	14,8	15,2	15,2
Mayo	14,9	14,6	13,6	14,6	15,4	15,9	16,0	15,7	15,0
Junio	18,1	17,8	17,0	16,5	16,7	16,5	15,8	14,8	13,4
Julio	16,8	16,5	15,8	15,7	16,1	16,3	16,2	15,7	14,8
Agosto	11,2	10,6	11,4	12,7	13,9	14,8	15,3	15,3	15,0
Sept.	2,6	4,0	6,8	8,5	10,5	12,2	13,5	14,4	14,9
Octo.	---	0,2	2,4	4,7	7,1	9,3	11,3	12,9	14,1
Nov.	---	---	0,1	1,9	4,3	6,7	9,1	11,2	13,1
Dic.	---	---	---	0,9	3,0	5,5	7,9	10,3	12,4

## HEMISFERIO SUR

	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
Enero	14,5	15,8	16,8	17,3	17,3	17,1	16,6	16,5	17,3	17,6
Febrero	15,0	15,7	16,0	15,8	15,2	14,1	12,7	11,2	10,5	10,4
Marzo	15,2	15,1	14,6	13,6	12,2	10,5	8,4	6,1	3,6	1,9
Abril	14,7	13,8	12,5	10,8	8,8	6,6	4,3	1,9	---	---
Mayo	13,9	12,4	10,7	8,7	6,4	4,1	1,9	0,1	---	---
Junio	11,6	9,6	7,4	5,1	2,8	0,8	---	---	---	---
Julio	13,5	11,9	10,0	7,8	5,6	3,3	1,2	---	---	---
Agosto	14,2	13,0	11,5	9,6	7,5	5,2	2,9	0,8	---	---
Sept.	14,9	14,4	13,5	12,1	10,5	8,5	6,2	3,8	1,3	---
Oct.	15,0	15,3	15,3	14,8	13,8	12,5	10,7	8,8	7,1	7,0
Nov.	14,6	15,7	16,4	16,7	16,5	16,0	15,2	14,5	15,0	15,3
Dic.	14,3	15,8	16,9	17,6	17,8	17,8	17,5	18,1	18,9	19,3

NOTA: tabla obtenida de la referencia No. 4

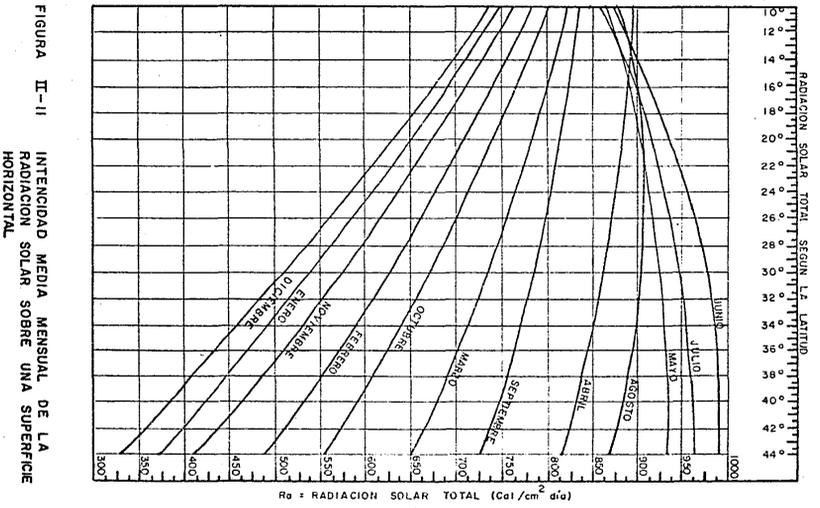


FIGURA II-II INTENSIDAD MEDIA MENSUAL DE LA RADIACION SOLAR SOBRE UNA SUPERFICIE HORIZONTAL

Existen varios inconvenientes en el método de Penmann; el principal radica en la carencia de registros climatológicos en las zonas de estudio, siendo un obstáculo difícil de superar.

### 2.2.2 Grassi - Christiansen.

Este método está ligado al de Blaney-Criddle [basado en el estudio para valuar el Uso Consuntivo; encontró una relación empírica entre la evaporación en un tanque y la Evapotranspiración con la temperatura, la humedad relativa y la duración del día (horas luz)], determinándose por este procedimiento los valores de Uso Consuntivo en forma global.

Los autores proponen coeficientes mensuales de Uso Consuntivo, que son empleados en la distribución del agua, a través de las diferentes etapas del cultivo, basándose en tres expresiones; obteniéndose las variantes de la Evapotranspiración, empleando la duración relativa del ciclo vegetativo de cultivos anuales.

$$Kg = \frac{Er}{Ep} \quad - - - - - 2.10$$

$$Kg = \frac{Er}{Ev} \quad - - - - - 2.11$$

$$Kg = \frac{Er}{Rg} \quad - - - - - 2.12$$

donde:

Kg = Coeficiente global de Evapotranspiración

Er = Evapotranspiración real (mm de agua/día)

Ep = Evapotranspiración potencial (Calculada para un terreno permanentemente cultivado)

Ev = Evaporación de una superficie de agua libre

Rg = Radiación global (expresado en altura equivalente de agua evaporada por día)

Estas expresiones se han generalizado utilizando una ecuación promedio, siendo aplicable a la obtención del coeficiente de cultivo  $K$ . Estas ecuaciones tienen relación con el ciclo vegetativo de por ciento que junto con el coeficiente  $K_g$  permite obtener las curvas de desarrollo de los cultivos --- (TABLA II-5 o FIGURA II-12), obtenido lo anterior se puede determinar el coeficiente mensual de Uso Consuntivo ( $K_m$ ), el cual deberá ser ajustado por los factores de luminosidad y temperatura (TABLAS II-6 y II-7), obteniéndose así los valores de Evapotranspiración mensual.

$$K_m = K \cdot p \cdot K_t \quad - - - - - 2.13$$

donde:

$K$  = Coeficiente de cultivo (TABLA II-8)

$p$  = factor de luminosidad

$K_t$  = Ajuste por temperatura.

### 2.2.3 Racional.

Se apoya en la representación de la evaporación potencial, - haciendo uso del coeficiente vegetativo afectado por un parámetro de tipo climático. Con este método se toma en cuenta - las etapas en las que las demandas de agua no son iguales, - crecimiento, floración y fructificación.

### 2.2.4 Lowry - Johnson.

Se basa en una relación empírica entre los datos que se tienen en la zona de estudios, partiendo de que existe una relación lineal entre evapotranspiración y calor efectivo. No se obtiene de forma directa el valor de Uso Consuntivo mensual con este método, sino que se tiene que hacer uso de relaciones entre unidades de calor mensual y promedio anual y no es un método específico para un solo cultivo.

TABLA II-5 COEFICIENTES PERIODICOS (K). DE USO CONSUNTIVO EN FUNCION DEL CICLO VEGETATIVO. DE ACUERDO - CON GRASSI Y CHRISTIANSEN.

c.v. %	$K_g=0.35$ K	$K_g=0.40$ K	$K_g=0.45$ K	$K_g=0.50$ K	$K_g=0.55$ K	$K_g=0.60$ K
10	0.158	0.181	0.204	0.226	0.249	0.272
20	0.255	0.292	0.328	0.365	0.401	0.418
30	0.333	0.380	0.428	0.475	0.523	0.571
40	0.391	0.447	0.503	0.559	0.615	0.671
50	0.430	0.492	0.553	0.615	0.676	0.738
60	0.450	0.514	0.578	0.643	0.707	0.771
70	0.450	0.515	0.579	0.643	0.708	0.772
80	0.432	0.493	0.555	0.616	0.678	0.740
90	0.393	0.450	0.706	0.562	0.618	0.674
100	0.336	0.384	0.432	0.780	0.528	0.576

c.v. %	$K_g=0.65$ K	$K_g=0.70$ K	$K_g=0.75$ K	$K_g=0.80$ K	$K_g=0.85$ K	$K_g=0.90$ K	$K_g=0.95$ K
10	0.295	0.317	0.340	0.362	0.385	0.407	0.430
20	0.474	0.511	0.547	0.584	0.620	0.657	0.693
30	0.618	0.666	0.713	0.761	0.809	0.856	0.904
40	0.727	0.783	0.839	0.895	0.951	1.006	1.063
50	0.799	0.861	0.922	0.984	1.045	1.107	1.168
60	0.836	0.900	0.964	1.028	1.093	1.157	1.221
70	0.837	0.901	0.965	1.030	1.094	1.158	1.222
80	0.801	0.863	0.925	0.986	1.048	1.109	1.171
90	0.731	0.787	0.843	0.899	0.956	1.012	1.068
100	0.624	0.672	0.720	0.768	0.816	0.864	0.912

NOTA: Tabla obtenida de la referencia No. 4

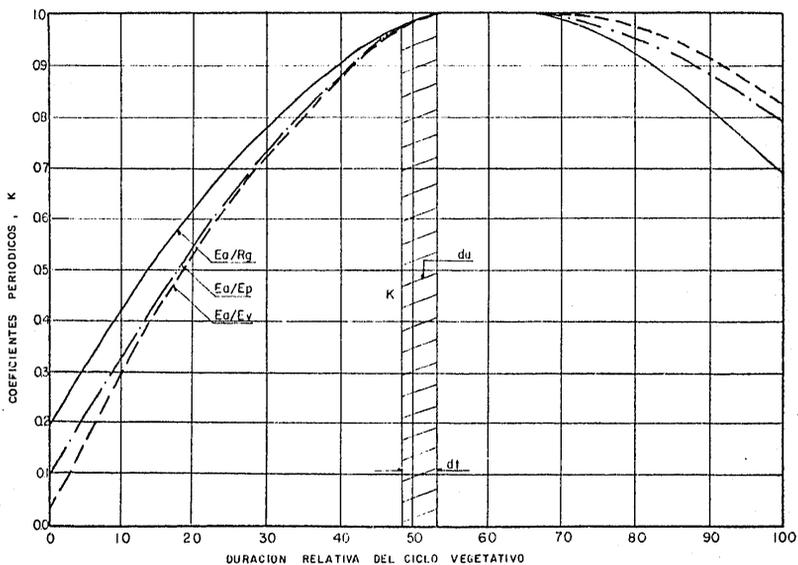


FIGURA II-12 COEFICIENTES PERIODICOS (K) DE GRASSI-CHRISTIANSEN

TABLA II-6 PORCIENTO DE HORAS DE SOL DIARIAS.

(FACTOR DE LUMINOSIDAD)

LAT.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
NTE.												
0	8.50	7.66	8.49	8.21	8.50	8.22	8.50	8.49	8.21	8.50	8.22	8.50
5	8.32	7.57	8.47	8.29	8.65	8.41	8.67	8.60	8.23	8.42	8.07	8.30
10	8.13	7.47	8.45	8.37	8.81	8.60	8.86	8.71	8.25	8.34	7.91	8.10
15	7.94	7.36	8.43	8.44	8.98	8.80	9.05	8.83	8.28	8.20	7.75	7.88
16	7.93	7.35	8.44	8.46	9.07	8.83	9.07	8.85	8.27	8.24	7.72	7.83
17	7.86	7.32	8.43	8.48	9.04	8.87	9.11	8.07	8.27	8.22	7.69	7.80
18	7.83	7.30	8.42	8.50	9.09	8.92	9.16	8.90	8.27	8.21	7.66	7.74
19	7.79	7.28	8.41	8.51	9.11	8.97	9.20	8.92	8.28	8.19	7.63	7.71
20	7.74	7.25	8.41	8.52	9.15	9.00	9.25	8.96	8.30	8.18	7.58	7.66
21	7.71	7.24	8.40	8.54	9.18	9.05	9.29	8.98	8.29	8.15	7.54	7.62
22	7.66	7.21	8.40	8.56	9.22	9.09	9.33	9.00	8.30	8.13	7.50	7.55
23	7.62	7.19	8.40	8.57	9.24	9.12	9.35	9.02	8.30	8.11	7.47	7.50
24	7.58	7.17	8.40	8.60	9.30	9.20	9.41	9.05	8.31	8.09	7.43	7.46
25	7.53	7.14	8.39	8.61	9.33	9.23	9.45	9.09	8.32	8.09	7.40	7.42
26	7.49	7.12	8.40	8.64	9.38	9.30	9.49	9.10	8.31	8.06	7.36	7.31
27	7.43	7.09	8.38	8.65	9.40	9.32	9.52	9.13	8.32	8.03	7.36	7.31
28	7.40	7.07	8.39	8.68	9.46	9.38	9.58	9.16	8.32	8.02	7.27	7.27
29	7.36	7.04	8.37	8.70	9.49	9.43	9.61	9.19	8.32	8.00	7.24	7.20
30	7.30	7.03	8.38	8.72	9.53	9.49	9.67	9.22	8.33	7.99	7.19	7.15
31	7.25	7.00	8.36	8.73	9.57	9.54	9.72	9.24	8.33	7.95	7.15	7.09
32	7.20	6.97	8.37	8.76	9.62	9.59	2.77	9.27	8.34	7.95	7.11	7.05
33	7.15	6.94	8.36	8.78	9.68	9.65	9.82	9.31	8.35	7.91	7.07	6.98
34	7.10	6.91	8.36	8.80	9.72	9.70	9.88	9.33	8.36	7.90	7.02	6.92

CONTINUACION DE LA TABLA 11-6

35	7.05	6.88	8.35	8.83	9.77	9.76	9.97	9.37	8.37	7.88	6.97	6.85
36	6.99	6.85	8.35	8.85	9.82	9.82	9.99	9.40	8.37	7.85	6.92	6.79
38	6.87	6.79	8.34	8.90	9.92	9.95	10.10	9.47	8.38	7.80	6.82	6.66
40	6.76	6.72	8.33	8.95	10.02	10.08	10.32	9.54	8.39	7.75	6.72	7.52
42	6.63	6.65	8.31	9.00	10.14	10.22	10.35	9.62	8.40	7.69	6.62	6.37
44	6.49	6.58	8.30	9.06	10.26	10.38	10.49	9.70	8.41	7.63	6.49	6.21
46	6.34	6.50	8.29	9.12	10.39	10.54	10.64	9.79	8.42	7.57	6.36	6.04
48	6.17	6.41	8.27	9.18	10.53	10.71	10.60	9.89	8.44	7.51	6.23	5.86
50	5.98	6.30	8.24	9.24	10.68	10.91	10.99	10.00	8.46	7.45	6.10	5.65
52	5.77	6.19	8.21	9.29	10.85	11.13	11.20	10.12	8.49	7.39	5.93	5.43
54	5.55	6.08	8.18	9.36	11.03	11.38	11.43	10.26	8.51	7.30	5.74	5.18
56	5.30	5.95	8.15	9.45	11.22	11.67	11.69	10.40	8.53	7.21	5.54	4.89
58	5.01	5.81	8.12	9.55	11.46	12.00	11.98	10.55	8.56	7.10	4.31	4.56
60	7.67	5.65	8.08	9.65	11.74	12.39	12.31	10.70	8.59	6.98	5.04	4.22

NOTA: tabla obtenida de la referencia No. 4

TABLA II-7 FACTOR DE AJUSTE POR TEMPERATURA, DE ACUERDO A LA  
 EXPRESION  $\frac{t + 17.8}{21.8}$  DE LA FORMULA DE BLANEY-CRID -  
 DLE.

Temp.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	0.954	0.959	0.963	0.968	0.972	0.977	0.982	0.986	0.991	0.995
4	1.000	1.005	1.009	1.014	1.018	1.023	1.028	1.032	1.037	1.041
5	1.046	1.051	1.055	1.060	1.064	1.069	1.074	1.078	1.081	1.087
6	1.092	1.097	1.101	1.106	1.110	1.115	1.120	1.124	1.129	1.133
7	1.138	1.143	1.147	1.152	1.156	1.161	1.166	1.170	1.175	1.179
8	1.184	1.189	1.193	1.198	1.202	1.207	1.212	1.216	1.221	1.225
9	1.230	1.235	1.239	1.244	1.248	1.253	1.258	1.262	1.267	1.271
10	1.276	1.281	1.285	1.290	1.294	1.299	1.304	1.308	1.313	1.317
11	1.322	1.327	1.331	1.336	1.340	1.345	1.350	1.354	1.359	1.363
12	1.368	1.373	1.377	1.382	1.386	1.391	1.396	1.400	1.405	1.409
13	1.414	1.419	1.423	1.428	1.432	1.437	1.442	1.446	1.451	1.455
14	1.460	1.465	1.469	1.474	1.478	1.483	1.488	1.492	1.497	1.501
15	1.506	1.511	1.515	1.520	1.524	1.529	1.534	1.538	1.543	1.547
16	1.552	1.557	1.561	1.566	1.570	1.575	1.580	1.584	1.589	1.595
17	1.598	1.603	1.607	1.612	1.616	1.621	1.626	1.630	1.635	1.639
18	1.644	1.649	1.653	1.662	1.667	1.672	1.676	1.681	1.681	1.685
19	1.690	1.695	1.699	1.704	1.708	1.713	1.718	1.722	1.727	1.731
20	1.736	1.741	1.745	1.750	1.754	1.759	1.764	1.768	1.773	1.777
21	1.782	1.787	1.791	1.796	1.800	1.805	1.810	1.814	1.819	1.823
22	1.826	1.833	1.837	1.842	1.846	1.851	1.856	1.860	1.865	1.869
23	1.877	1.879	1.883	1.888	1.892	1.897	1.902	1.906	1.911	1.915
24	1.920	1.925	1.929	1.934	1.938	1.943	1.948	1.952	1.957	1.961
25	1.966	1.971	1.975	1.980	1.984	1.989	1.994	1.998	2.003	2.007
26	2.012	2.017	2.021	2.026	2.030	2.035	2.039	2.044	2.049	2.053
27	2.058	2.063	2.067	2.072	2.076	2.081	2.086	2.090	2.095	2.099
28	2.104	2.109	2.113	2.118	2.122	2.127	2.132	2.136	2.141	2.145
29	2.150	2.155	2.159	2.164	2.168	2.173	2.178	2.182	2.187	2.191
30	2.196	2.201	2.205	2.210	2.214	2.219	2.224	2.228	2.233	2.237
31	2.242	2.247	2.251	2.256	2.260	2.265	2.270	2.274	2.279	2.283
32	2.288	2.293	2.297	2.302	2.306	2.311	2.316	2.320	2.325	2.329
33	2.334	2.339	2.343	2.348	2.352	2.357	2.362	2.366	2.371	2.375
34	2.380	2.385	2.389	2.394	2.398	2.403	2.408	2.412	2.417	2.421
35	2.426	2.431	2.431	2.430	2.440	2.445	2.450	2.454	2.459	2.463

TABLA II-8 COEFICIENTES DE USO CONSUNTIVO DE LOS CULTIVOS.

C U L T I V O	% DEL CICLO VEGETATIVO										
	0	10	20	30	40	60	70	80	90	100	
ALFALFA	0.55	0.60	0.70	0.80	0.90	0.95	0.95	0.95	0.90	0.80	0.65
FRIJOL	0.20	0.30	0.40	0.65	0.85	0.90	0.90	0.60	0.60	0.35	0.20
CITRICOS Y AGUACATE	0.50	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.50	0.55	0.60	0.55	0.50
MAIZ	0.20	0.30	0.50	0.65	0.80	0.90	0.90	0.85	0.75	0.60	0.50
ALGODON	0.10	0.20	0.40	0.55	0.75	0.90	0.90	0.85	0.75	0.55	0.35
FRUTALES DE HOJA --											
CADUCA	0.20	0.30	0.50	0.65	0.70	0.75	0.70	0.60	0.50	0.40	0.20
FRUTALES CON CU----											
BIERTA VEGETAL	Promedio de 1.00 aproximadamente para los periodos de crecimiento rápido.										
SORGO DE GRANO	0.20	0.35	0.55	0.75	0.85	0.90	0.85	0.70	0.60	0.35	0.15
CEREALES DE PRIMAVE <u>RA</u>	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.55	0.75	0.65	0.90	0.90	0.30
CEREALES DE INVIER <u>NO</u>	0.15	0.25	0.35	0.40	0.50	0.60	0.70	0.60	0.90	0.90	0.30
VID	0.15	0.15	0.20	0.35	0.45	0.55	0.55	0.45	0.35	0.25	0.20
TREBOL LADINO	Promedio de 0.95 aproximadamente para el crecimiento máximo										
NOGAL	0.30	0.35	0.55	0.70	0.75	0.75	0.75	0.65	0.55	0.30	0.15
PACANA	0.35	0.45	0.55	0.75	0.75	0.65	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
CACAHUATE	0.15	0.25	0.35	0.45	0.55	0.60	0.65	0.65	0.60	0.45	0.30
PAPA	0.20	0.35	0.45	0.65	0.80	0.90	0.95	0.95	0.95	0.90	0.90
ARROZ	0.80	0.95	1.05	1.15	1.20	1.30	1.30	1.20	1.10	0.90	0.50

REMOLACHA AZUCARERA	0.25	0.45	0.60	0.70	0.80	0.85	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
CANA DE AZUCAR	Varía de 0.55 a 1.00 según la velocidad y la fase de crecimiento										
HORTALIZAS DE RAIZ											
PROFUNDA	0.20	0.20	0.25	0.35	0.50	0.65	0.70	0.60	0.45	0.35	0.20
HORTALIZAS DE RAIZ											
SUPERFICIAL	0.10	0.20	0.40	0.50	0.60	0.60	0.60	0.55	0.45	0.35	0.30

NOTA: tabla obtenida de la referencia No. 4

Para la determinación del Uso Consuntivo se realiza mediante del calor efectivo, definiéndose este como la integral de las temperaturas diurnas máximas mayores de 0°C en el período de desarrollo, haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$U.C. = 0.244 + 0.085C \quad - - - - - 2.14$$

donde:

U.C. = Uso Consuntivo (metros)

C = Calor efectivo (grados/día en miles)

Este método tuvo éxito en zonas áridas.

### 2.2.5 Turc.

Obtiene una fórmula, que expresa el poder evaporante del aire como una función de la temperatura promedio y de la radiación solar. Turc se basa en el balance del agua de una cuenca, así como de lisimétricos recolectados durante varios años. La ecuación que propone para la evaluación del poder evaporante del aire es:

$$L = 0.0437 (T + 2) \sqrt{I_g} \quad - - - - - 2.15$$

donde:

L = Poder evaporante del aire

T = Temperatura promedio del aire (°C)

I<sub>g</sub> = Radiación solar mensual incidente en una superficie horizontal (Cal-gr/cm<sup>2</sup>/día)

Si no se tienen registros de radiación solar se puede estimar por la siguiente ecuación.

$$I_g = Q_a \left( 0.18 + 0.62 \frac{n}{N} \right) \quad - - - - - 2.16$$

donde:

$Q_a$  = Valor de Angot (Cantidad teórica de radiación máxima que puede alcanzar una superficie con transparencia igual a uno) (tabla II-9)

$n$  = Duración real del fotoperíodo (mensual)

$N$  = Duración teórica máxima posible del fotoperíodo - (tabla II-10)

$\frac{n}{N}$  = Insolación relativa (horas)

$N$

Conocido esto se puede evaluar la evapotranspiración.

$$EVT = 0.013 \frac{T}{T + 15} (I_g + 50) \quad - - - - - 2.17$$

donde: :

EVT = Evapotranspiración (mm/día)

$t$  = Temperatura promedio mensual.

Para temperaturas inferiores o iguales a 0°C, la Evapotranspiración es igual a cero. Si la humedad relativa es inferior a 50%, se hace necesario de una corrección, haciéndose esta por medio del coeficiente F

$$F = 1 + \frac{50-H}{70} \quad - - - - - 2.18$$

donde:

H = Humedad Relativa en %

Por lo tanto queda

$$EVT = 0.013 F \frac{T}{T + 15} (I_g + 50) \quad - - - - - 2.19$$

TABLA II-9 RADIACION MAXIMA DEL AIRE  $Q_A$   
(cal-gramo/cm<sup>2</sup> de superficie horizontal).

MESES	GRADOS LATITUD NORTE.									
	42°	43°	44°	45°	46°	47°	48°	49°	50°	51°
Enero	336	321	307	293	278	264	250	236	222	208
Febreo	468	454	441	427	414	400	387	373	360	347
Marzo	651	640	629	618	606	595	584	573	562	351
Abril	819	812	805	798	791	785	778	771	764	757
Mayo	939	937	934	932	929	927	925	922	920	918
Junio	985	985	984	984	984	984	983	983	983	983
Julio	954	952	950	948	946	944	942	940	938	936
Agosto	846	840	835	829	823	817	812	806	800	794
Septiembre	689	679	669	658	648	638	627	617	607	597
Octubre	510	496	483	470	457	443	430	417	404	391
Noviembre	362	347	332	318	303	289	275	260	246	232
Diciembre	294	280	266	251	237	223	208	194	180	166

NOTA: Tabla obtenida de la referencia No. 4

TABLA II-10 DURACION MENSUAL DEL DIA "N". (Horas).

MESES	GRADOS LATITUD NORTE.									
	42°	43°	44°	45°	46°	47°	48°	49°	50°	51°
Enero	296	292	288	284	281	277	274	270	266	262
Febrero	297	296	295	293	291	290	288	286	284	282
Marzo	370	370	370	370	370	370	369	369	368	368
Abril	401	403	404	405	407	409	410	412	413	415
Mayo	452	455	457	461	465	468	472	475	479	483
Junio	454	458	462	467	471	476	480	485	490	495
Julio	461	465	468	472	475	479	483	488	492	497
Agosto	429	432	435	437	439	442	444	447	449	452
Septiembre	376	376	376	377	377	377	377	378	378	378
Octubre	343	342	342	341	340	338	337	336	334	333
Noviembre	295	292	289	287	284	281	278	275	272	268
Diciembre	284	281	277	273	270	266	262	257	253	247

NOTA: Tabla obtenida de la referencia No. 4

## II-2.3 METODOS DE MAYOR USO EN LA EVALUACION DEL USO CON-SUNTIVO.

### 2.3.1 Método de Thornthwaite.

C.W. Thornthwaite, buscando una expresión simple que emplea ra datos climatológicos accesibles, desarrolló una fórmula empírica basada en la latitud y la temperatura, demostrando teóricamente que esta última constituye un buen índice de la energía en un lugar específico.

$$E = 1.6 \left( \frac{10 T}{I} \right)^a \quad \text{-----} \quad 2.20$$

donde:

E = Evapotranspiración mensual (cm)

T = Temperatura media mensual en °C

a = Constante que depende del lugar y que es función - del índice de eficiencia anual de temperatura (I), cuyo valor es.

$$a = 0.000000675I^3 - 0.0000771I^2 + 0.01792I + 0.49239 \quad \text{-----} \quad 2.21$$

I = Índice anual de calor o temperatura . Es la suma de los índices de las eficiencias mensuales de temperatura (i)

$$I = \sum_{i=1}^{12} i \quad ; \quad \text{-----} \quad 2.22$$

donde:

$$i = \left( \frac{T}{5} \right)^{1.514} \quad \text{-----} \quad 2.23$$

### Aplicación del Método:

Para aplicar la fórmula obtenida por el Dr. C.W. Thornthwaite se aconseja seguir la siguiente secuela:

- A) Se calculan las temperaturas medias mensuales (T)
- B) Se calculan los valores de la eficiencia en la temperatura, por medio de la ecuación 2.23
- C) Se determina la eficiencia anual de la temperatura (I), sumando los valores calculados de "i".
- D) Se calcula el exponente "a" aplicando la ecuación 2.21
- E) Se estima la evapotranspiración en el mes considerado, en función de la temperatura media mensual aplicando la ecuación 2.20
- F) Este valor de Evapotranspiración potencial no ajustado es corregido por la duración real de la luz del día y el número de días al mes, lo cual permitirá determinar el valor de Evapotranspiración real para el mes y la zona de estudio.

$$E = 1.6 K_a \left( \frac{10 T}{I} \right)^a \text{ --- 2.24}$$

donde:

$K_a$  = Coeficiente de ajuste que está en función de la latitud y el mes (tabla II-11)

La ecuación manifiesta la ausencia de otros factores metereológicos, lo cual se justifica en el hecho de que dichos factores están involucrados en la temperatura del aire.

Thornthwaite encuentra que la Evapotranspiración acumulada es un indicador del tiempo de vida del cultivo, ya que todos requieren un cierto volumen de agua para alcanzar su madurez observando que si se acelera la evapotranspiración también se acelera la madurez del cultivo.

El método de Thornthwaite da resultados aceptables en zonas húmedas con vegetación abundante, aumentando los errores en zonas semiáridas o áridas.

TABLA II-11 Duración promedio posible del fotoperíodo (Ka)  
 en los hemisferios norte y sur expresado en --  
 unidades de 30 días de 12 horas cada uno.

Lat.N.	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0	1.04	0.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04
5	1.02	0.93	1.03	1.02	1.06	1.03	1.06	1.05	1.01	1.03	0.99	1.02
10	1.00	0.91	1.03	1.03	1.08	1.06	1.08	1.07	1.02	1.02	0.98	0.99
15	0.97	0.91	1.03	1.04	1.11	1.08	1.12	1.08	1.02	1.01	0.95	0.97
20	0.95	0.90	1.03	1.05	1.13	1.11	1.14	1.11	1.02	1.00	0.93	0.94
25	0.93	0.89	1.03	1.06	1.15	1.14	1.17	1.12	1.02	0.99	0.91	0.91
26	0.92	0.88	1.03	1.06	1.15	1.15	1.17	1.12	1.02	0.99	0.91	0.91
27	0.92	0.88	1.03	1.07	1.16	1.15	1.18	1.13	1.02	0.99	0.90	0.90
28	0.91	0.88	1.03	1.07	1.16	1.16	1.18	1.13	1.02	0.98	0.90	0.90
29	0.91	0.87	1.03	1.07	1.17	1.16	1.19	1.13	1.03	0.98	0.90	0.89
30	0.90	0.87	1.03	1.08	1.18	1.17	1.20	1.14	1.03	0.98	0.89	0.88
31	0.90	0.87	1.03	1.08	1.18	1.18	1.20	1.14	1.03	0.93	0.89	0.88
32	0.89	0.86	1.03	1.08	1.19	1.19	1.21	1.15	1.03	0.98	0.88	0.87
33	0.88	0.86	1.03	1.09	1.19	1.20	1.22	1.15	1.03	0.97	0.88	0.86
34	0.88	0.85	1.03	1.09	1.20	1.20	1.22	1.16	1.03	0.97	0.87	0.86
35	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	1.03	0.97	0.86	0.85
36	0.87	0.85	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16	1.03	0.97	0.86	0.84
37	0.86	0.84	1.03	1.10	1.22	1.23	1.25	1.17	1.03	0.97	0.85	0.83
38	0.85	0.84	1.03	1.10	1.23	1.24	1.25	1.17	1.04	0.96	0.84	0.83
39	0.85	0.84	1.03	1.11	1.23	1.24	1.26	1.18	1.04	0.96	0.84	0.82
40	0.84	0.83	1.03	1.11	1.24	1.25	1.27	1.18	1.04	0.96	0.83	0.81
41	0.83	0.83	1.03	1.11	1.25	1.26	1.27	1.19	1.04	0.96	0.82	0.80
42	0.82	0.83	1.03	1.12	1.26	1.27	1.28	1.19	1.04	0.95	0.82	0.79
43	0.81	0.82	1.02	1.12	1.26	1.28	1.29	1.20	1.04	0.95	0.81	0.77
44	0.81	0.82	1.02	1.13	1.27	1.29	1.30	1.20	1.04	0.95	0.80	0.76
45	0.80	0.81	1.02	1.13	1.28	1.29	1.31	1.21	1.04	0.94	0.79	0.75
46	0.79	0.81	1.02	1.13	1.29	1.31	1.32	1.22	1.04	0.94	0.79	0.74
47	0.77	0.80	1.02	1.14	1.30	1.32	1.33	1.22	1.04	0.93	0.78	0.73
48	0.76	0.80	1.02	1.14	1.31	1.33	1.34	1.23	1.05	0.93	0.77	0.72
49	0.75	0.79	1.02	1.14	1.32	1.34	1.35	1.24	1.05	0.93	0.76	0.71
50	0.74	0.78	1.02	1.15	1.33	1.36	1.37	1.25	1.06	0.92	0.76	0.70
Lat.S.												
5	1.06	0.95	1.04	1.00	1.02	0.99	1.02	1.03	1.00	1.05	1.03	1.06
10	1.08	0.97	1.05	0.99	1.01	0.96	1.00	1.01	1.00	1.06	1.05	1.10
15	1.12	0.98	1.05	0.98	0.98	0.94	0.97	1.00	1.00	1.07	1.07	1.12
20	1.14	1.00	1.05	0.97	0.96	0.91	0.95	0.99	1.00	1.08	1.09	1.15
25	1.17	1.01	1.05	0.96	0.94	0.88	0.93	0.98	1.00	1.10	1.11	1.18
30	1.20	1.03	1.06	0.95	0.92	0.85	0.90	0.96	1.00	1.12	1.14	1.21
35	1.23	1.04	1.06	0.94	0.89	0.82	0.87	0.94	1.00	1.13	1.17	1.25
40	1.27	1.06	1.07	0.93	0.86	0.78	0.84	0.92	1.00	1.15	1.20	1.29

42	1.28	1.07	1.07	0.92	0.85	0.76	0.82	0.92	1.00	1.16	1.22	1.31
44	1.30	1.08	1.07	0.92	0.83	0.74	0.81	0.91	0.99	1.17	1.23	1.33
46	1.32	1.10	1.07	0.91	0.82	0.72	0.79	0.90	0.00	1.17	1.25	1.35
48	1.34	1.11	1.08	0.90	0.80	0.70	0.76	0.89	0.99	1.18	1.27	1.37
50	1.37	1.12	1.06	0.89	0.77	0.67	0.74	0.88	0.99	1.19	1.29	1.41

---

NOTA: Tabla obtenida de la referencia No. 1



Se encontro también la Relación entre la temperatura y el fo toperíodo, obteniéndose un factor "f" llamado fuerza Evaporante y quedando la fórmula como:

$$E = K_g f \quad \text{--- -- -- -- -- 2.27}$$

En donde el valor de la fuerza Evaporante se obtiene como:

$$f = p \left( \frac{t + 17.8}{21.8} \right) \quad \text{--- -- -- -- -- 2.28}$$

habiendo elaborado tablas para valuar dicho término (tabla - II-7)

Posteriormente el investigador Phelan haciendo investigaciones en la zona árida denominada Valle Imperial (Texas), en - contró que cuando se tienen lluvias en verano se debe ajustar el valor obtenido con la expresión de Blaney-Criddle, - ajuste en la temperatura, para lo cual da la siguiente relación.

$$K_t = 0.03114t + 0.2396 \quad \text{--- -- -- -- -- 2.29}$$

donde:

$K_t$  = ajuste en la temperatura

t = Temperatura en °C.

quedando la expresión de la fuerza evaporante como:

$$f = p K_t \left( \frac{t + 17.8}{21.8} \right) \quad \text{--- -- -- -- -- 2.30}$$

y finalmente:

$$E = K_g p K_t \left( \frac{t + 17.8}{21.8} \right) \quad \text{--- -- -- -- -- 2.31}$$

Para facilidad del cálculo en la tabla II-14 se tienen valua  
da la expresión completa:

$$K_t \left( \frac{t + 17.8}{21.8} \right) \text{ --- 2.32}$$

los autores continuarón sus estudios y propusieron un nuevo método, en el cual se sustituye el Coeficiente Global (Kg) - del Cultivo, por un Coeficiente variable a lo largo del ciclo vegetativo al que se le llama Coeficiente de Crecimiento (Kc).

Estos Coeficientes de crecimiento se deben obtener para cada zona, tomando en cuenta las características que prevalecen - en dicha región, las cuales no son iguales en otras regiones lo cual motiva que el ciclo vegetativo puede tener modificación ó simplemente variar las etapas de crecimiento (fig -- II-3) quedando la fórmula:

$$E = Kc \text{ p } K_t \left( \frac{t + 17.8}{21.8} \right) \text{ --- 2.33}$$

donde:

Kc = Coeficiente de crecimiento (mensual)

Los resultados obtenidos entre los 2 métodos elaborados por Blaney-Criddle arrojan una diferencia del 10% aproximadamente cuando se trata de zonas áridas, ya que ambos métodos - fueron elaborados para dicho tipo de terreno.

Sin embargo no se ha demostrado que el método que emplea - los Coeficientes de crecimiento no sirva en zonas templadas razón por la que no se debe generalizar.

En el caso de los Coeficientes globales se hace la suposi - ción de que en todas partes presenta una curva de crecimen - to parecida, dando valores en un cierto rango lo cual exige tener una cierta experiencia para su buen uso.

Por lo que es necesario ajustar la evapotranspiración, introduciendo un nuevo Coeficiente  $K''$

$$K'' = \frac{K_g}{K'} \quad \text{--- 2.34}$$

donde:

$K_g$  = Coeficiente global (tabla II-12)

$K'$  = Coeficiente calculado según la sig. expresión

$$K' = \frac{\sum E_2}{\sum f_1} \quad \text{--- 2.35}$$

donde:

$\sum f_1$  = Fuerza evaporante de los meses en que es necesario el riego.

$\sum E_2$  = Evapotranspiración, calculada con el coeficiente de crecimiento mensual ( $K_c$ ), de los meses en que es necesario el riego. Calculada mediante la Ecuación 2.36.

$$E_2 = K_c f \quad \text{--- 2.36}$$

Obteniendo finalmente la evapotranspiración corregida:

$$E' = K'' E_2 \quad \text{--- 2.37}$$

Nota:

El método de Blaney — Criddle da buenos resultados en zonas áridas.

TABLA II-12 COEFICIENTES GLOBALES DE EVAPOTRANSPIRACION ESTACIONAL ( $K_g$ ) PARA DIVERSOS CULTIVOS EN DONDE LOS VALORES MAXIMOS CORRESPONDEN A LAS ZONAS DE CLIMA ARIDO Y SEMIARIDO Y LOS VALORES MINIMOS A ZONAS HUMEDAS Y SEMI HUMEDAS.

CULTIVO	PERIODO VEGETATIVO	COEFICIENTE GLOBAL $K_g$
AGUACATE	Perenne	0.50 - 0.55
AJONJOLI	3 a 4 meses	0.80
ALFALFA	Entre heladas	0.80 - 0.85
	En invierno	0.60
ALGODON	6 a 7 meses	0.60 - 0.65
ARROZ	3 a 5 meses	1.00 - 1.20
CACAHUATE	5 meses	0.60 - 0.65
CACAO	Perenne	0.75 - 0.80
CAFE	Perenne	0.75 - 0.80
CAMOTE	5 a 6 meses	0.60
CANA DE AZUCAR	Perenne	0.75 - 0.90
CARTAMO	5 a 8 meses	0.55 - 0.65
CEREALES DE GRANO PEQUEÑO: (alpiste, avena, cebada, - centeno, trigo)	3 a 6 meses	0.50 - 0.65
CITRICOS	7 a 8 meses	0.50 - 0.65
CHILE	3 a 4 meses	0.60
ESPARRAGO	6 a 7 meses	0.60
FRESA	Perenne	0.45 - 0.60
FRIJOL	3 a 4 meses	0.60 - 0.70
FRUTALES DE HUESO Y PEPITA (hoja caduca)	Entre heladas	0.60 - 0.70
GARBANZO	4 a 5 meses	0.60 - 0.70

GIRASOL	4 meses	0.50 - 0.65
HABA	4 a 5 meses	0.60 - 0.70
HORTALIZAS	2 a 4 meses	0.60
JITOMATE	4 meses	0.70
LECHUGA Y COL	3 a 6 meses	0.70
LENTEJA	4 meses	0.60 - 0.70
LINO	7 a 8 meses	0.70 - 0.80
MAIZ	4 a 7 meses	0.75 - 0.85
MANGO	Perenne	0.75 a 0.80
MELON	3 a 4 meses	0.60
NOGAL	Entre heladas	0.70
PAPA	3 a 5 meses	0.65 - 0.75
PALMA DATILERA	Perenne	0.65 - 0.80
PALMA COCOTERA	Perenne	0.80 - 0.90
PAPAYA	Perenne	0.60 - 0.80
PLATANO	Perenne	0.80 - 1.00
PASTOS DE GRAMINEAS	Perenne	0.75
REMOLACHA	6 meses	0.65 - 0.75
SANDIA	3 a 4 meses	0.60
SORGO	3 a 5 meses	0.70
SOYA	3 a 5 meses	0.60 - 0.70
TABACO	4 a 5 meses	0.70 - 0.80
TOMATE	4 a 5 meses	0.70
TREBOL LADINO	Perenne	0.80 - 0.85
ZANAHORIA	2 a 4 meses	0.60
FRUTALES ESTABLECIDOS - DE CLIMA TROPICAL Y --- SUBTROPICAL	Perenne	(§)

$$(\S) \frac{0.75E_t + 0.80E_t}{2 f}$$

$E_t$  - Evaporación en tanque evaporómetro

$f$  -- Factor de luminosidad y temperatura.

NOTA: Tabla obtenida de la referencia No. 1

- los valores pequeños son para regiones costeras y los mayores para zonas áridas.

TABLA II-13 PORCENTAJES DE HORAS-LUZ EN EL DIA PARA  
CADA MES DEL AÑO EN RELACION AL NUMERO  
TOTAL EN UN AÑO (p)

## M E S E S

Lat.	Nte.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
15°.	7.94	7.37	8.44	8.45	8.98	8.80	9.03	8.83	8.27	8.26	7.75	7.88	
16°.	7.93	7.35	8.44	8.46	9.01	8.83	9.07	8.85	8.37	8.24	7.72	7.83	
17°.	7.86	7.32	8.43	8.48	9.04	8.87	9.11	8.87	8.27	8.22	7.69	7.80	
18°.	7.83	7.30	8.42	8.50	9.09	8.92	8.16	8.90	8.27	8.21	7.66	7.74	
19°.	7.79	7.28	8.41	8.51	9.11	8.97	9.20	8.92	8.28	8.10	7.63	7.71	
20°.	7.74	7.26	8.41	8.53	9.14	9.00	9.23	8.95	8.29	8.17	7.59	7.66	
21°.	7.71	7.24	8.40	8.54	9.18	9.05	9.29	8.98	8.29	8.15	7.54	7.62	
22°.	7.66	7.21	8.40	8.65	9.92	9.09	9.33	9.00	8.30	8.13	7.50	7.55	
23°.	7.62	7.10	8.40	8.57	9.27	9.12	9.35	9.02	8.30	8.11	7.47	7.50	
24°.	7.58	7.17	8.40	8.60	9.30	9.20	9.41	9.05	8.31	8.02	7.43	7.46	
25°.	7.53	7.13	8.39	8.61	9.32	9.22	9.43	9.08	8.30	8.08	7.40	7.41	
26°.	7.49	7.12	8.40	8.64	9.38	9.30	9.49	9.10	8.31	8.06	7.36	7.35	
27°.	7.43	7.09	8.38	8.65	9.40	9.32	9.52	9.13	8.32	8.03	7.36	7.31	
28°.	7.40	7.07	8.39	8.68	9.46	9.38	9.58	9.16	8.32	8.02	7.22	7.27	
29°.	7.35	7.04	8.37	3.70	9.49	9.43	9.61	9.19	8.32	8.00	7.27	7.20	
30°.	7.30	7.03	8.38	8.72	9.53	9.49	9.67	9.22	8.34	7.99	7.19	7.14	
31°.	7.25	7.00	8.36	8.73	9.57	9.54	9.72	9.24	8.33	7.95	7.15	7.09	
32°.	7.20	6.97	8.37	8.75	9.63	9.60	9.77	9.28	8.34	7.95	7.11	7.05	

NOTA: Tabla obtenida de la referencia No. 1

TABLA II-14 VALORES DE LA EXPRESION  $K_t^{t + 17.8}$  EN RELACION  
 CON LAS TEMPERATURAS MEDIAS EN  $^{\circ}\text{C}$ . PARA USARSE  
 EN LA FORMULA DE BLANEY Y CRIDDLE.

$^{\circ}\text{C}$	.0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9
3.....	0.317	0.322	0.327	0.331	0.335	0.340	0.345	0.349	0.354	0.359
4.....	0.364	0.369	0.373	0.378	0.384	0.388	0.393	0.398	0.403	0.408
5.....	0.413	0.418	0.423	0.428	0.433	0.439	0.444	0.449	0.455	0.460
6.....	0.465	0.470	0.476	0.481	0.487	0.492	0.498	0.503	0.509	0.514
7.....	0.520	0.526	0.531	0.537	0.549	0.549	0.554	0.560	0.566	0.572
8.....	0.578	0.584	0.590	0.596	0.602	0.608	0.614	0.620	0.626	0.632
9.....	0.638	0.645	0.651	0.657	0.664	0.670	0.676	0.682	0.689	0.696
10.....	0.702	0.708	0.715	0.722	0.729	0.735	0.742	0.748	0.755	0.762
11.....	0.768	0.775	0.782	0.789	0.796	0.803	0.810	0.817	0.824	0.830
12.....	0.838	0.845	0.852	0.859	0.866	0.874	0.880	0.889	0.895	0.902
13.....	0.910	0.917	0.925	0.932	0.939	0.947	0.954	0.962	0.971	0.977
14.....	0.985	0.992	1.000	1.008	1.016	1.024	1.031	1.039	1.047	1.055
15.....	1.063	1.071	1.079	1.086	1.095	1.103	1.111	1.119	1.127	1.135
16.....	1.143	1.152	1.160	1.168	1.175	1.185	1.193	1.202	1.210	1.219
17.....	1.227	1.235	1.244	1.253	1.262	1.270	1.279	1.287	1.296	1.305
18.....	1.313	1.322	1.331	1.340	1.349	1.357	1.367	1.375	1.385	1.393
19.....	1.403	1.412	1.421	1.430	1.439	1.448	1.458	1.467	1.476	1.485
20.....	1.495	1.505	1.513	1.523	1.533	1.542	1.551	1.561	1.571	1.580
21.....	1.590	1.599	1.609	1.619	1.629	1.639	1.648	1.658	1.668	1.678
22.....	1.688	1.697	1.708	1.717	1.728	1.738	1.748	1.758	1.768	1.779
23.....	1.789	1.799	1.810	1.819	1.830	1.840	1.851	1.861	1.871	1.882
24.....	1.892	1.903	1.914	1.924	1.935	1.945	1.956	1.967	1.977	1.988
25.....	1.999	2.010	2.020	2.031	2.042	2.053	2.064	2.074	2.086	2.096
26.....	2.108	2.119	2.130	2.141	2.153	2.164	2.175	2.186	2.198	2.208
27.....	2.220	2.232	2.243	2.255	2.265	2.277	2.289	2.300	2.312	2.323
28.....	2.335	2.345	2.358	2.370	2.382	2.394	2.405	2.417	2.430	2.441

29.....	2.453	2.464	2.477	2.489	2.500	2.513	2.525	2.537	2.549	2.561
30.....	2.574	2.586	2.598	2.610	2.623	2.635	2.647	2.660	2.672	2.685
31.....	2.698	2.710	2.723	2.734	2.747	2.760	2.773	2.786	2.798	2.811
32.....	2.822	2.836	2.850	2.862	2.875	2.887	2.900	2.914	2.927	2.940
33.....	2.953	2.966	2.978	2.992	3.006	3.018	3.032	3.045	3.058	3.072
34.....	3.085	3.098	3.111	3.125	3.138	3.152	3.166	3.179	3.193	3.206
35.....	3.220	3.234	3.247	3.261	3.274	3.289	3.303	3.316	3.330	3.344

---

NOTA: Tabla obtenida de la referencia No. 1

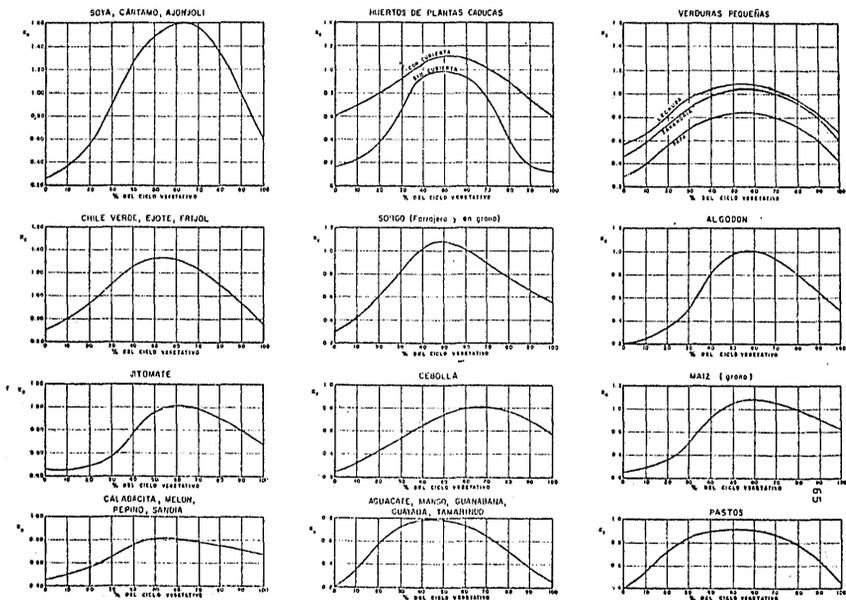


FIG. II-13 CURVAS DE CICLO VEGETATIVO PARA DIFERENTES CULTIVOS (obtenida de la referencia N.1)

### III DISEÑO HIDRAULICO DE LOS SISTEMAS

#### III-1 DESCRIPCION DEL PROYECTO

Se basa en el distrito de riego No. 85 LA BEGOÑA, GTO. que ---  
 aprovecha las aguas del rfo Laja, almacenándose en la presa --  
 "I. Allende".

La superficie en estudio es un poco plana y con un área de ---  
 1.6 Ha, las cuales se encuentran en una zona de clima semi-fri  
 do, con temperaturas límite de 25° y 34°C. La localización de  
 dicho distrito se menciona a continuación.

#### III-1.1 LOCALIZACION Y CARACTERISTICAS DEL DISTRITO DE RIEGO

LA BEGOÑA, GTO. (Obtenida de la referencia No.7 )

##### Ubicación

A).- Entidad:	Guanajuato
B).- Municipio, Has:	Celaya            8901
	Comonfort <u>970</u>
	total              9061
D).- Datos Geográficos Medios:	lat.     20° 31' N
	long. 100° 49' O
	alt. 1754 M.S.N.M.

##### Superficie, (has.)

A).- Dominada	11670
B).- Regable	9061

##### Hidrología.

Tipo de Aprovechamiento	capacidad total ( $10^6 m^3$ )	capacidad útil ( $10^6 m^3$ )	volumen anual utilizado ( $10^6 m^3$ )	Gasto obra toma ( $m^3/seg$ )	superficie regable (Ha)	fuentes	cuenca $Km^2$
Presa "I. Allen de"	251.0	150.0	189.3	11.0	11,138	Rfo Laja	7,900

### Hidrometría.

- A) Capacidad de los Canales principales  $9.2m^3/seg.$   
 $2.5m^3/seg.$
- B) Capacidad del Dren Principal  $11.1m^3/seg.$

### Climatología.

#### A) Clasificación Climatológica.

Thorntwaite: DdB'a. Provincia de humedad D semiárido, vegetación de estepa. Humedad deficiente en todas las estaciones, provincia de temperatura B' mesotérmica. Subprovincia de temperatura A, concentración en el verano entre 25 y 34°C.

- B) Tipo y Número de Estaciones Climatológicas la clase  
4 termopluviométricas y de Evaporación.

#### C) Datos Climatológicos

- 1.- Estación Representativa: Celaya lat. 20° 31'N  
long. 100° 49'O  
alt. 1754 MSNM

2.- Período de observación: 10 años

MESES	TEMPERATURA (°C)	PRESIPITACION (mm)	EVAPORACION (mm)	TOTAL DIAS EN 10 AÑOS	
				HELADAS	GRANIZADAS.
Enero	16.0	3.9	153.2	186	0
febrero	16.5	5.2	179.5	121	2
marzo	17.7	7.2	259.1	61	3
abril	22.2	11.7	229.0	11	3
mayo	24.4	25.5	295.2	6	3
junio	23.8	112.9	228.0	2	2
julio	22.5	151.1	197.9	0	3
agosto	22.2	132.9	193.1	0	1
septiembre	21.8	126.9	158.9	3	2
octubre	20.2	38.7	174.3	57	2
noviembre	17.6	7.5	147.7	145	1
diciembre	16.2	5.7	136.6	177	2
total anual		629.2	2352.5		

NOTA: Más adelante (tabla III-4) se hacen con estos datos los cálculos de la evapotranspiración potencial que ayuda al cálculo del Uso Consuntivo.

Producción.

OTOÑO-INVIerno	PRIMAVERA-VERANO	PERENNES
RIEGO	RIEGO	RIEGO
Ajo	cacahuate	alfalfa
Avena	chile	frutales
Cebada	Jicama	Pradera
Cebolla	Jitomate	
Frijol	maíz	
Garbanzo	sandía	
Hortalizas	sorgo	
Jitomate	Zanahoria, Varios.	
Trigo, varios		

### III-12 OBTENCIÓN DEL USO CONSUNTIVO.

#### 1.2.1 Suelo.

Está constituido por un limo arcilloso de textura moderadamente fina (tabla III-1) y con una pendiente de terreno del 0.004% (plano 1), se obtiene una velocidad de infiltración de 0.511 cm/h. (tabla III-2)

#### 1.2.2 Cultivo.

Se decidió implantar lechuga, la cual tiene un período de crecimiento de 3 a 6 meses (tabla II-12), considerando una profundidad radicular de 30 cm (tabla III-3).

#### 1.2.3 Humedad Aprovechable.

La humedad aprovechable depende de la textura del suelo, como se tiene limo arcilloso de textura moderadamente fina se consideran 4.77 cm/m por cada 30 cm de suelo, estos datos fueron obtenidos experimentalmente para diferentes cultivos y suelos -- (tabla III-1)

#### 1.2.4 Demanda de Agua.

Para calcular el valor de las demandas de agua mensuales se elaborarán las tablas III-4 y III-5 que determinan el Uso Consuntivo de la lechuga considerando los métodos de Thornthwaite y Blaney-Criddle utilizando en el último los coef. siguientes.

- 1°.- Considerando Kg global  
 2°.- Considerando Kc mensuales.  
 3°.- Considerando K" coeficiente de corrección.

Una vez terminado el cálculo del Uso Consuntivo, se procede a determinar la lluvia efectiva por el método de Prescott Para - obtener finalmente las láminas teóricas de Riego. La eficiencia de riego se consideró del 75% (en la referencia No. 5 se muestran las eficiencias recomendadas para el diseño de los diferentes métodos de riego, encontrándose estas eficiencias entre el 50% y 75%).

TEXTURA DE SUELO	HUMEDAD APROVECHABLE EN		PROMEDIO.	
	R A N G O .		Pulg/pié	Cm/30cm
	Pulg./pie	cm/ 30 cm	Pulg/pié	Cm/30cm
Areas muy gruesas y arenas finas (C)	0.5 - 1.0	1.27 -2.54	0.75	1.91
Arenas limosas y gruesas y arenas finas limosas (L)	0.75-1.25	1.91 -3.18	1.00	2.54
Limos arenosos moderadamente gruesos y limos arenosos finos. (S)	1.25-1.75	3.18- 4.45	1.50	3.81
Limos arcillosos de textura moderadamente fina. Limos arcillosos y limos arcillosos aluviales. (F)	1.75-2.5	3.18-6.30	2.20	4.77
Arenas de textura fina, arcillas aluviales y Arcilla. (H)	1.6 -2.5	4.06-6.30	2.30	5.84

TABLA III-1.- Rango gral. de capacidad de almacenamiento de humedad-aprovechable y valores promedio de diseño para condiciones de suelo - normales.

NOTA: Tabla obtenida de la referencia No. 5

TABLA III-2 INFILTRACION BASICA ESTIMADA CON RELACION A TEXTURA Y PENDIENTE.

Pendiente en %	TEXTURA DEL SUELO (1)					
	Fina	Moderada- mente fina.	Medio	Moderada- mente gruesa.	Gruesa	Muy gruesa
MELGAS Y ZANJAS EN CORTORNO $I_b$ ; en cm/h (*)						
0.00 - 12.00	0.25 - 0.76	0.64 - 1.90	1.27 - 3.81	2.54 - 7.62	5.08 - 10.16	7.62 6 mds
SURCOS $I_b$ ; en lps/100 m <sup>2</sup>						
0.00 - 0.25	0.170 - 0.373	0.237 - 0.543	0.373 - 0.813	0.542 - 1.288	0.814 - 1.899	1.356 6 mds
0.25 - 0.50	0.136 - 0.305	0.203 - 0.441	0.305 - 0.678	0.475 - 1.017	0.678 - 1.560	1.153 " "
0.15 - 1.00	0.136 - 0.271	0.203 - 0.407	0.271 - 0.542	0.407 - 0.949	0.610 - 1.356	1.017 " "
1.00 - 2.00	0.102 - 0.237	0.136 - 0.339	0.237 - 0.475	0.339 - 0.814	0.542 - 1.153	0.882 " "
2.00 - 4.00	0.068 - 0.203	0.136 - 0.271	0.203 - 0.407	0.271 - 0.678	0.407 - 0.949	0.678 " "
CORRUGACIONES $I_b$ ; en lps/100 m <sup>2</sup>						
1.00 - 2.00	0.138 - 0.339	0.170 - 0.509	0.305 - 0.678	0.407 - 1.221	0.678 - 1.695	1.085 6 mds
2.00 - 4.00	0.102 - 0.305	0.170 - 0.407	0.237 - 0.610	0.339 - 1.017	0.509 - 1.424	0.814 " "
4.00 - 8.00	0.102 - 0.271	0.136 - 0.339	0.203 - 0.509	0.305 - 0.814	0.475 - 1.221	0.678 " "
ASPERSION $I_b$ ; en cm/h. (*)						
0.00 - 4.00	0.250 - 0.510	0.510 - 1.020	0.760 - 1.780	1.270 - 2.540	1.780 - 3.310	2.540 6 mds
4.00 - 8.00	0.250 - 0.380	0.380 - 0.640	0.510 - 1.270	1.020 - 1.780	1.270 - 2.540	1.780 " "
8.00 6 mds	..... - 0.250	0.250 - 0.380	0.380 - 0.760	0.760 - 1.270	1.020 - 1.780	1.270 " "

(\*)= Suelo desnudo con buena cobertura, las infiltraciones básicas pueden ser de 25 a 50% mayores.

(1)= Grupos de textura según la tabla.

$I_b$  = Infiltración básica.

NOTA: Tabla obtenida de la referencia No. 5

TABLA III-3 PROFUNDIDAD DE LAS RAICES DE LOS PRINCIPALES CULTIVOS.

Cultivos	Profundidad Radicular (m)
Alfalfa	1.50 - 3.00
Alcachofa	1.20
Espárrago	1.80 - 3.00
Frijol	0.90
Remolacha Azucarera	1.20 - 1.80
Betabel	1.60 - 0.90
Franbuesa y Zarzamora	1.20 - 1.80
Brocoli	0.60
Col	0.60
Melón Canta loupe	1.20 - 1.80
Zanahoria	0.60 - 0.90
Coliflor	0.60
Cítricos	1.20 - 1.80
Maíz dulce	0.90
Maíz	1.20 - 1.50
Caña de Azúcar	1.00
Algodón	1.20 - 1.80
Pepinos	0.60 - 0.90
Frutales de hojas caedizas	1.80 - 2.40
Cereales de grano pequeño (A)	1.20
Sorgo	1.20
Vid	1.50 - 3.00
Zacates forrajeros	0.90 - 1.20
Trébol ladino	0.60
Lechuga	0.30 - 0.45
Melón ordinario	1.20 - 1.50
Nueces y avellano	1.20 - 1.80
Cebolla	0.45
Pastinaca	0.90
Cacahuate	0.60
Chicharos	0.90 - 1.20

(CONTINUACION)

TABLA III-3

CULTIVOS	PROFUNDIDAD RADICULAR (m)
Papas	0.90 - 1.20
Camote	1.20 - 1.80
Calabazas	1.80
Rábanos	0.30 - 0.45
Soya	0.90 - 1.20
Espinacas	0.60
Calabacitas	0.90
Fresas	0.90 - 1.20
Tabaco	1.20
Jitomate	1.80 - 3.00
Nabo	0.90
Nuez de Nogal	3.60
Sandía	1.80

(A) Trigo, cebada, etc.

Tabla obtenida de la referencia N. 5

### 1.2.5 Lluvia efectiva.

Para determinar la lluvia efectiva existen varios criterios, - únicamente se aplicarán dos métodos; el primero que aplica Distritos de Riego y el método empleado en le Departamento de Canales de esta Secretaría.

A) Método aplicado en Distritos de Riego para considerar la -- lluvia efectiva.

1° Consistente en analizar la lluvia que cae en la región en - los últimos años en la estación climatológica más cercana a la zona en estudio. Esta lluvia ya corregida se registra en forma decenal de cada mes, correspondiente a cada año, para mayor -- aproximación.

2° Se suma la lluvia decenal de cada mes, obteniéndose la precipitación mensual, para cada año de observación.

3° Se ordenan las lluvias mensuales de mayor a menor precipitación, correspondiente a cada año.

4° Una vez ordenada la precipitación mensual, se escoge una - probabilidad del 80% de los años de observación, y el año que resulte nos representa las precipitaciones que se tomarán en cuenta.

B) En el Departamento de Canales de la Secretaría de Recursos Hidráulicos se aplica la fórmula de PRESCOTT para cuantificar la lluvia efectiva.

Dicha fórmula considera que:

$$\text{si } 0.8P \geq 0.9E^{0.75} \text{ ----- } 3.1$$

Se toma en cuenta la lluvia efectiva.

$$\therefore Pe = 0.8P \text{ ----- } 3.2$$

$$\text{ahora si } 0.8P < 0.9E^{0.75} \text{ ----- } 3.3$$

no se toma en cuenta la lluvia efectiva.

$$\therefore Pe = 0 \text{ ----- } 3.4$$

donde:

P = Precipitación media mensual (cm)

E = Evapotranspiración Calculada por el método de  
Thornthwaite. (cm)

Pe = Precipitación efectiva

#### 1.2.6 Cálculo de la Evapotranspiración ajustado.

Para este cálculo se utilizó el método de Thornthwaite, basándose en los datos obtenidos de la estación "Celaya", este cálculo se presenta a continuación en la siguiente tabla.

TABLA III-4 CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL AJUSTADO.

1	2	3	4	5	6	7	8
MES	T TEMPERATURA media (°C)	P PRECIPITACION media (mm)	E EVAPORACION (mm)	i	Ep EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL POR THORNTHWAITE	Ka	EpC EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL AJUSTADO (cm)
Enero	16.0	3.9	153.2	5.82	4.505	0.948	4.271
febrero	16.5	5.2	179.5	6.10	4.817	0.800	3.854
marzo	17.7	7.2	259.1	6.78	5.611	1.03	5.779
abril	22.2	11.7	229.0	9.55	9.184	1.059	9.726
mayo	24.4	25.5	295.2	11.02	11.279	1.132	12.768
Junio	23.8	112.9	228.0	10.62	10.685	1.113	11.892
Julio	22.5	151.1	197.9	9.75	9.456	1.143	10.808
Agosto	22.2	132.9	193.1	9.55	9.184	1.111	10.203
Septiembre	21.8	126.9	158.9	9.29	8.828	1.02	9.005
Octubre	20.2	38.7	174.3	8.28	7.479	0.999	7.472
Noviembre	17.6	7.5	147.7	6.72	5.542	0.928	5.143
Diciembre	16.2	5.7	136.6	5.93	4.628	0.937	4.336
Total anual		629.2	2367.5	99.41			

$$I = \sum_{i=1}^{12} i = 99.41$$

$$a = 0.00000675 I^3 - 0.0000771 I^2 + 0.017921I + 0.49239$$

$$a = 2.175$$

## DESCRIPCION DE LA TABLA III-4

COLUMNA	DESCRIPCION.
1	meses del año.
2	(T) Temperatura media mensual en °C obtenida de la referencia No.7
3	(P) precipitación media en mm, obtenida de la referencia No.7
4	(E) evaporación en mm, obtenida de la referencia No.7
5	(i) índice de las eficiencias mensuales de temperatura, calculada por la Ec. -- 2.23
6	$i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1.514} \text{ ----- Ec, 2.23}$ (Ep) evapotranspiración potencial, --- calculada por las ecuaciones: $E = 1.6 \left(\frac{10T}{I}\right)^a \text{ ----- Ec 2.20}$ $a = 0.00000675I^3 - 0.0000771I^2 + 0.01792I + 0.49239 \text{ --- Ec 2.21}$ $I = \sum_{i=1}^{12} i \text{ ----- Ec 2.22}$
7	(Ka) coeficiente de ajuste, en función de la latitud y el mes (tabla -- II-11)

8

( $E_{pc}$ ) evapotranspiración potencial ajustada, que es resultado de multiplicar la columna 6 x 7.

$$E = 1.6 \left( \frac{10T}{I} \right)^a K_a \text{ ----- Ec 2.24}$$

### 1.2.7 Cálculo del Uso Consuntivo.

Utilizando el método de Blaney-Criddle (descrito en el capítulo II) y el cálculo de la evapotranspiración potencial ajustada, obtenida anteriormente, se realiza la siguiente tabla III-5, para el cálculo del Uso Consuntivo.

TABLA III-5 CALCULO DEL USO CONSUNTIVO.

Cultivo: Lechuga; ciclo vegetativo 180 días (otoño-invierno)  
 Fecha de siembra 21 de septiembre de 1985  
 Fecha de cosecha 21 de febrero de 1986  
 Zona: Semi-árida

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
MES	T (°C)	$K(1-\frac{17.5}{218})$	P	f	$f_1$	Kc	$E_2$ (cm)	K <sup>n</sup>	E' (cm)	Pm (cm)	Pe (cm)	LN (cm)	LB (cm)	
E	16.0	1.143	7.725	8.830	8.830	0.90								
F	16.5	1.185	7.25	8.591	8.591	0.67	8.653	0.835	7.225	0.39	0.00	7.225	9.633	
M	17.7	1.287	8.405	10.817			5.756	0.835	4.806	0.52	0.00	4.806	6.408	
A	22.2	1.708	0.535	14.578										
M	24.4	1.935	9.16	17.725										
J	23.8	1.871	9.025	16.886										
J	22.5	1.738	9.26	16.094										
A	22.2	1.708	8.965	15.312										
S	21.8	1.668	8.29	13.828	13.828	0.55	7.605	0.835	6.350	12.69	10.152	3.802	-5.069	
O	20.2	1.513	8.16	12.346	12.346	0.83	10.247	0.835	8.556	3.87	0.00	3.556	11.408	
N	17.6	1.279	7.565	9.676	9.676	1.04	10.063	0.835	8.403	0.75	0.00	8.403	11.204	
D	16.2	1.160	7.64	8.862	8.862	1.10	9.748	0.835	8.140	0.57	0.00	8.140	10.853	
total					62.133	5.170	52.072							

E' = U.C.A = Uso Consuntivo ajustado

Kg = coeficiente global de crecimiento = 0.70

Eficiencia de riego 75 %

Ldmina bruta: 11.408 cm., octubre mes de máxima demanda.

## DESCRIPCION DE LA TABLA III-5

COLUMNA	DESCRIPCION
1	mes
2	(T) Temperatura media mensual, obtenida de los datos climatológicos (Referencia No 7.)
3	Con la temperatura media (columna 2) se entra a la tabla II-14, obteniéndose la expresión $K_t \left( \frac{t+17.8}{21.8} \right)$ , o bien calculando $K_t = 0.03114t + 0.2396$ -- Ec.2.29 y multiplicándolo por la expresión que se encuentra en el paréntesis.
4	(P) Porcentaje de horas luz al mes obtenida de la tabla II-13 (entrando con la latitud y el mes).
5	(f) fuerza evaporante, obtenida de multiplicar las columnas 3x4
	$f = p K_t \left( \frac{t+17.8}{21.8} \right)$ -----Ec 2.30
6	(f <sub>1</sub> ) fuerza evaporante correspondiente a los meses del ciclo vegetativo
7	(K <sub>c</sub> ) Coeficiente de crecimiento mensual, obtenido de la Fig. II-13
8	(E <sub>2</sub> ) evapotranspiración, obtenida de multiplicar las columnas 6x7,
	$E_2 = K_c f_1$ -----Ec 2.36

9

(K") Coeficiente de corrección.

$$K'' = \frac{K_g}{K'} \text{ ----- Ec. 2.34}$$

$$K' = \frac{WE_2}{Wf_1} \text{ ----- Ec. 2.35}$$

10

(E') evapotranspiración corregida, obtenida de multiplicar las columnas --- 8x9,

$$E' = K'' E_2 \text{ ---- Ec. 2.37}$$

11

(Pm) precipitación media mensual, obtenida de los datos climatológicos -- (referencia No. 7)

12

(Pe) precipitación efectiva, método de PRESCOTT (ver pag. 74) ecuaciones 3.1, - 3.2, 3.3 y 3.4.

13

(LN) lámina neta, obtenida de restar - las columnas 10-12

14

(LB) lámina bruta, se calcula dividiendo la columna 12 entre la eficiencia de riego (75%)

## RESUMEN DEL PROYECTO.

Area de proyecto:	1.6 Ha (16,000 m <sup>2</sup> )
cultivo:	lechuga
suelo:	limo-arcilloso
ciclo vegetativo:	6 meses
mes de máxima demanda:	octubre
lámina bruta:	11.408 cm/mes
	6 0.380 cm/día

## III-2 ELECCION DE LA FUENTE DE ABASTECIMIENTO.

Las fuentes de abastecimiento de agua, son todos los sitios - susceptibles de aprovechamiento del agua para su consumo, según sea su procedencia y la forma en que se captan, se clasifican en:

- A) Aguas meteóricas
  - 1.- Aguas de lluvia
  - 2.- nieve
  - 3.- granizo
  
- B) Aguas superficiales
  - 1.- Ríos
  - 2.- arroyos.
  
- C) Aguas subterráneas.
  - 1.- de manantiales
  - 2.- de pozos profundos
  - 3.- de pozos poco profundos
  - 4.- captación de cenotes.

La fuente de abastecimiento elegida para este problema fué de un pozo, que se encuentra a un lado del área de riego. El agua será conducida a un tanque de almacenamiento existente y de és te al sistema de riego empleando un equipo de bombeo.

### III-3 CALCULO HIDPAULICO

Este cálculo se realizará para el método de riego por aspersión y por goteo

#### III-3.1 RIEGO POR ASPERSION.

##### 3.1.1 Cálculo del gasto total del sistema

- Area por regar = 1.6 Ha = 16000 m<sup>2</sup>

-Humedad Aprovechable.

Se considera una profundidad radicular de 30 cm (inciso 1.2.2 pag.69 ) y se tiene una humedad aprovechable igual a 4.77 ---- cm/m por cada 30 cm de suelo (inciso 1.2.3 pag. 69 ) ahora para una profundidad radicular de 30 cm, su humedad aprovechable sería de:

$$\frac{4.77 \text{ cm/m}}{30 \text{ cm de suelo}} = \frac{H \text{ aprov}}{30 \text{ cm}}$$

por lo tanto la humedad aprovechable será:

$$H. \text{ Aprov.} = 4.77 \text{ cm/m}$$

Agua Aprovechable

Agua Aprov. = H. Aprov. x profundidad radicular

$$\text{Agua Aprov.} = 4.77 \text{ cm} \times 0.30 \text{ m}$$

$$\text{Agua Aprov.} = 1.43 \text{ cm}$$

- Intervalos de riego (N) será:

$$N = \frac{\text{Agua aprovechable}}{\text{lámina bruta.}}$$

donde:

$$\text{lámina bruta} = 11.408 \text{ cm/mes} = 0.380 \text{ cm/día.}$$

$$N = \frac{1.43}{0.380 \text{ cm/día}} = 3.76$$

$$N = \underline{4 \text{ días}}$$

Si los riegos se planean darlos cada cuatro días, se tendrán:

$$\frac{30 \text{ días}}{4 \text{ días}} = 7.5 = 8 \text{ riegos/mes}$$

- Lámina aplicable por riego será:

$$L_a = \frac{\text{lámina bruta}}{\text{No de riegos/mes}}$$

donde:

$$\text{Lámina bruta} = 11.408 \text{ cm/mes}$$

$$L_a = \frac{11.408 \text{ cm/mes}}{8 \text{ riegos/mes}} = 1.43 \text{ cm}$$

$$La = \underline{0.0143 \text{ m}}$$

El tiempo de operación de los aspersores para aplicar a un riego esta influido mas por los deseos de los agricultores que -- por las condiciones físicas del lugar (referencia N. 5 )

En este caso se propone un tiempo de operación (H) igual a:

$$H = 2 \text{ horas}$$

- Finalmente después de haber hecho los cálculos anteriores -- se tiene un gasto total requerido igual a:

$$Q = \frac{A \times La}{N \times H}$$

donde:

Q = gasto necesario ( $\text{m}^3/\text{seg}$ )

A = área de riego ( $\text{m}^2$ )

La = lámina aplicable por riego (m)

N = No. de intervalos de riego (días)

H = horas de operación (seg/día)

$$Q = \frac{16,000 \text{ m}^2 \times 0.014 \text{ m}}{4 \text{ días} \times 2(3600 \frac{\text{seg}}{\text{día}})}$$

$$Q = 0.008 \frac{\text{m}^3}{\text{seg.}}$$

### 3.1.2 Generalidades del Cálculo,

- A) La línea de conducción en terrenos inclinados, deberá ser colocada preferentemente a lo largo de la parte más alta con derivaciones laterales descendente a uno o ambos lados. Se deberán hacer cambios en los diámetros de los tubos, a lo largo de la línea principal para controlar la presión y mantener una carga razonablemente equilibrada sobre la planta de Bombeo.
- B) En terreno plano la localización ideal y más económica de la línea de conducción sería al centro del área por desarrollar.
- C) Las tuberías de conducción deberán ser colocadas de tal manera que las líneas laterales o regantes puedan dotarse en forma de bifurcación de línea. La función principal de estas líneas es la de transportar el caudal de agua necesaria a todas las secciones del área en estudio a la presión requerida.
- D) El principal problema de diseño para hacer funcionar todas las líneas regantes en condiciones de máximo consumo, es el de elegir los diámetros de la tubería con los cuales la operación resulte económica.
- F) El diseño de tuberías principales requiere el análisis de todo el sistema para determinar las necesidades máximas de capacidad y presión.
- G) Una red de riego bien diseñada debe tener una apariencia simple y sencilla, así mismo debe ligarse ó unirse al terreno, dando la impresión de que fué la única solución lógica y natural para las condiciones locales.

H) En cuanto al cálculo hidráulico de la línea se utilizará la fórmula de Manning.

1.- Descripción de la fórmula de Manning.

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \text{ ----- } 3.5$$

donde:

V = Velocidad del agua (m/seg)

n = coeficiente de rugosidad que depende del material de la tubería.

Los coeficientes de rugosidad que se recomiendan son los siguientes:

Asbesto cemento	n= 0.010
Acero galvanizado	n= 0.014
Plástico P.V.C	n= 0.009

R = Radio hidráulico (m)

S = gradiente hidráulico

El gradiente hidráulico es la razón de las pérdidas por fricción entre la longitud total de la tubería.

$$S = \frac{H_f}{L} \text{ ----- } 3.6$$

si

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{\pi D^2}{4}} = \frac{4Q}{\pi D^2} \text{ ----- } 3.7$$

entonces

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{V\pi}} \text{ ----- } 3.8$$

Para tubería totalmente llena:

$$R = \frac{\text{Area de la tubería}}{\text{perímetro mojado}} = \frac{\pi D^2 / 4}{r D}$$

$$R = \frac{D}{4} \text{ ----- } 3.9$$

Sustituyendo en la ecuación 3.5 las ecuaciones 3.6, 3.7 y 3.9

$$\frac{4Q}{\pi D^2} = \frac{1}{n} \left( \frac{D}{4} \right)^{2/3} \left( \frac{H_f}{L} \right)^{1/2} \text{ ----- } 3.10$$

despejando la pérdida de carga por fricción.

$$H_f = \frac{10.29 x Q^2 x n^2 x L}{D^{16/3}} \text{ ----- } 3.11$$

$$\text{si } K = \frac{10.29 n^2}{D^{16/3}} \text{ ----- } 3.12$$

∴ la pérdida de carga por fricción es finalmente

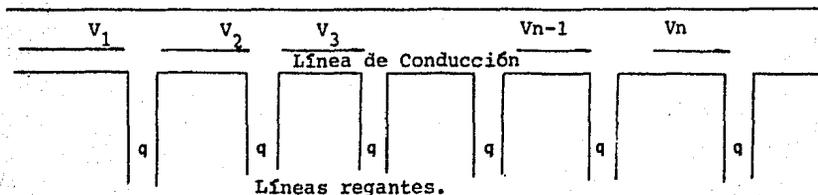
$$H_f = K L Q^2 \text{ ----- } 3.13$$

donde:

- $H_f$  = pérdidas por fricción (m)
- $L$  = longitud de la conducción (m)
- $Q$  = gasto de conducción ( $m^3/\text{seg}$ )
- $D$  = diámetro interior del tubo (m)

2.- Deducción del coeficiente de salidas múltiples para la ecuación de Manning.

a) Para el trazo de la línea de conducción o principal con líneas laterales o regantes de un solo lado.



El gasto a la entrada de la tubería (Q) es igual a:

$$Q = N q \text{ --- 3.14}$$

donde:

N = número de salidas ó número de líneas regantes

q = gasto en cada salida.

La velocidad del fluido en el tramo 1 es igual a:

$$V_1 = \frac{Q}{A} = \frac{Nq}{\frac{\pi D^2}{4}} = \frac{4 Nq}{\pi D^2} \text{ --- 3.15}$$

haciendo el término común:

$$f = \frac{4q}{\pi D^2} \text{ --- 3.16}$$

quedando:

$$V = fN \text{ --- 3.17}$$

Velocidad en el tramo 2

$$V_2 = f(N-1) \text{ ----- } 3.18$$

Velocidad en el tramo 3

$$V_3 = f(N-2) \text{ ----- } 3.19$$

Velocidad en la iésima salida será:

$$V_i = f[N-(i-1)] \text{ ---- } 3.20$$

Volviendo a la ecuación de Manning y analizando la iésima salida

$$f[N-(i-1)] = \frac{1}{n} \left(\frac{D}{4}\right)^{2/3} \left(\frac{H_{fi}}{L}\right)^{1/2} \text{ ---- } 3.21$$

Siendo s' la separación ó longitud del tramo 1 y despejando el término de H<sub>fi</sub>

$$\frac{H_{fi}}{s'} = \left[ \frac{n^2 \cdot 4^{2/3}}{D^{2/3}} f[N-(i-1)] \right]^2 \text{ ----- } 3.22$$

$$H_{fi} = \frac{n^2 \cdot 4^{4/3}}{D^{4/3}} f^2 s' [N-(i-1)]^2 \text{ ----- } 3.23$$

$$H_{fi} = \frac{n^2 \cdot 4^{4/3}}{D^{4/3}} s' \left(\frac{4g}{D^2}\right)^2 [N-(i-1)]^2 \text{ ----- } 3.24$$

La pérdida total de carga a través de todos los tramos será:

$$H_f = \sum H_{fi} \text{ ----- } 3.25$$

$$\text{si } s' = \frac{L}{N} \text{ ----- } 3.26$$

$$q = \frac{Q}{N} \text{-----} 3.27$$

entonces:

$$H_f = \frac{n^{2/3} L Q^2}{D^{4/3} N^3 D^4} \sum_{i=1}^N [N-(i-1)]^2 \text{----} 3.28$$

Por medio de series de taylor encontramos que:

$$\sum_{i=1}^N [N-(i-1)]^2 = \frac{N}{6} + \frac{N^2}{2} + \frac{N^3}{3} \text{-----} 3.29$$

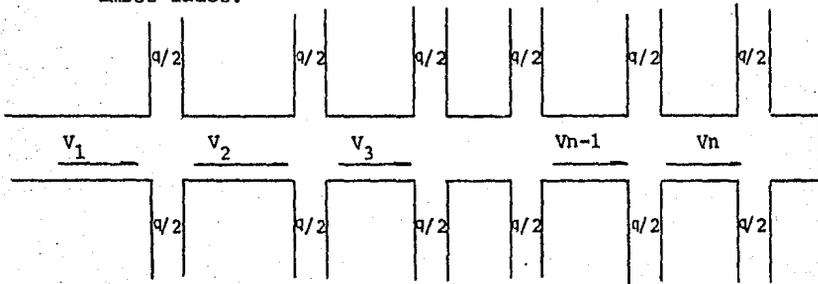
Poniendo todo en función de N el coeficiente de salidas multiple será:

$$CSM = \frac{1}{N^3} \left[ \frac{N}{6} + \frac{N^2}{2} + \frac{N^3}{3} \right] \text{-----} 3.30$$

Por lo tanto, la ecuación de Manning para pérdidas por fricción y efecto del salidas multiples será:

$$H_f = \frac{10.29 n^2 L Q^2}{D^{16/3}} \cdot CSM \text{-----} 3.31$$

b) Para el trazo de la línea principal con líneas laterales a ambos lados.



Para la ecuación 3.30

$N = \# \text{ de salidas} / 2$

3.- Manning toma en cuenta los siguientes factores.

a) Tuberías.

El empleo de tuberías en conducción permite hacer el análisis hidráulico de los conductos trabajando como canal o a presión, dependiendo de las características topográficas que se tengan. En cualquier caso la velocidad mínima será:

$$V_{\min} = 0.5 \text{ m/seg.} \quad \text{-----} \quad 3.32$$

para evitar el asentamiento de las partículas que arrastre el agua. La velocidad máxima permisible para evitar erosión en cualquier caso deberá ser :

$$V_{\max} = 5.0 \frac{\text{m}}{\text{seg}} \quad \text{-----} \quad 3.33$$

b) Selección del diámetro económico.

En toda línea de conducción por bombeo se deberá realizar el estudio de diámetro económico, en tres diámetros para que el intermedio cumpla con las condiciones y se tenga la seguridad de que no habrá otro que pueda ser más económico. Si al hacer el estudio resulta más económico cualquiera de los diámetros de los extremos (el menor o el mayor), se hará indispensable estudiar un cuarto diámetro más pequeño o grande según el caso de manera que quede demostrado que entre las tuberías de diámetros consecutivos, el intermedio arroje un costo total de bombeo para operación de 365 días mas bajo.

- Para proponer los diámetros por analizar, se puede aplicar la fórmula de Dupuit.

$$D = 1.5 \sqrt{Q} \quad \text{-----} \quad 3.34$$

donde:

D = diámetro tentativo (pulgadas)

Q = gasto de conducción ( l.p.s.)

Con la aplicación de esta expresión, se estará deduciendo solamente uno de los tres diámetros, y para completar la tercia se deberán proponer los inmediatos inferior y superior respectivamente.

- Análisis Simplificado.

Cuando se trate de conducciones por las cuales se tengan gasto mínimos, menores a 10 l.p.s., no será necesario determinar con extrema precisión el diámetro más económico, en vista que la variación que se tendrá entre diámetros consecutivos no afectará sustancialmente.

Así entonces la determinación del diámetro recomendable para una conducción de acuerdo a lo siguiente:

1º Buscar un diámetro que de acuerdo al gasto por conducir, -- arroje en principio una velocidad que este comprendida entre

$$1.0 \leq v \leq 1.5 \text{ m/seg.}$$

y que la pérdida de carga por fricción ( $H_f$ ) oscile entre

$$2.5 \frac{\text{m}}{\text{Km}} \leq H_f \leq 4 \frac{\text{m}}{\text{Km}}$$

### 3.1.3 Diseño Hidráulico de la Línea de Conducción 6 principal

En este caso la zona de riego tiene una pendiente suave, por lo que la línea de conducción estará localizada a lo largo de la parte más alta, la cual alimentará a las líneas laterales o regantes y estas a su vez a los aspersores.

En este caso se utilizará tubería de P.V.C. la cual irá enterrada (en cuanto a su elección ver conclusiones)

El sistema en general será fijo únicamente los aspersores se quitarán del sistema, para ser guardados mientras no se está proporcionando el riego, (de esta manera se evitan hurtos).

usando Manning.

$$H_f = K L Q^2$$

Para P.V.C. se tiene un coeficiente de rugosidad igual a 0.009 de acuerdo al lugar donde se encuentra el pozo que abastecerá el sistema (plano 2) la tubería tendrá una longitud del sitio de bombeo igual a:

$$\text{longitud de } 336 \text{ m} = 0.336 \text{ Km}$$

Como tenemos  $Q = 0.008 \text{ m}^3/\text{seg}$ .

$$0.008 \text{ m}^3/\text{seg} \leq 0.01 \text{ m}^3/\text{seg}.$$

Por lo tanto para la selección del diámetro económico utilizaremos el análisis simplificado descrito anteriormente.

Para nuestro caso:

$$2.5 \text{ m/km} \leq H_f \leq 4 \text{ m/km}$$

$$2.5 \text{ m}(0.336) \leq H_f \leq 4(0.336)$$

$$0.84 \text{ m/km} \leq H_f \leq 1.35 \text{ m/km}$$

En cuanto al cálculo de carga para salidas multiples, se debe considerar lo siguiente.

La separación entre aspersores está en función de la presión de operación y el diámetro del círculo regado. Existen datos proporcionados por los fabricantes para la distribución de los aspersores sobre el terreno, donde se emplean generalmente 2 dispositivos:

1.- Dispositivo de 12 x 12, asegura una amplia superposición de los círculos descritos por el riego de los aparatos. Con este dispositivo, la suspensión del riego, a causa de la velocidad del viento, debe ser poco frecuente y de corta duración. La superficie regada en cada puesto-tiempo de funcionamiento del material sobre una localización es de  $144 \text{ m}^2$  por aspersor, este dispositivo es mas conveniente para los cultivos sensibles.

2.- Dispositivo de 18 x 18, asegura el riego de una parcela con un material menos numeroso y una reducción de la mano de obra, puesto que la superficie destinada a cada aspersor es de  $324 \text{ m}^2$ . Pero este dispositivo es muy vulnerable al viento, que puede por lo demás amplificar o acortar el rumbo del riego.

Puede adoptarse también el dispositivo de 12 x 18 en este dispositivo, el viento tendrá por efecto disminuir la superposición lateral, sin perjuicio, puesto que los aspersores solo --

distan 12 m, pero en el sentido de los 18 m mejorará la superposición. La superficie destinada a cada aspersor del dispositivo 12 x 18 m es de 216 m<sup>2</sup>. Es preciso hacer notar que la distribución del agua es casi menos regular que la del dispositivo ---- 12 x 12 m

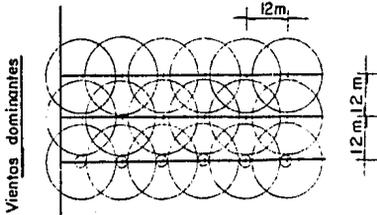


FIG. III-1 DISPOSITIVO 12 x 12 m

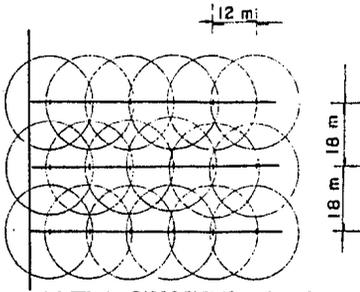


FIG. III-2 DISPOSITIVO 12 x 18 m

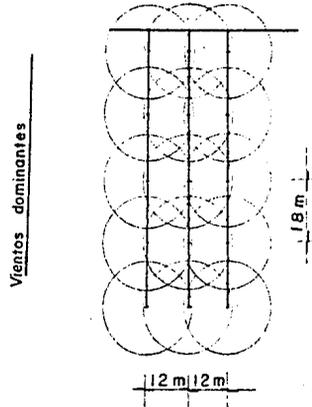


FIG. III-3 DISPOSITIVO 12 x 18 m

DISPOSICION DE LOS TRAMOS Y DE LOS ASPERSORES SOBRE EL TERRENO

En cuanto a la presión de operación los fabricantes ofrecen -- muestrarios de aspersores para funcionar a presiones comprendidas entre 2 y 4 kg/cm<sup>2</sup>, algunos de estos aparatos, pueden -- funcionar normalmente a partir de una presión de 1.5 kg/cm<sup>2</sup>.

Por lo tanto se escogió el dispositivo de 12 x 12, ya que es el que nos conviene usar, por las características descritas anteriormente.

Si tenemos una longitud de 340 m (plano No. 2) en la línea de conducción y una separación entre líneas de 12 m, el número de líneas regantes será:

$$\frac{340}{12} = 28.33$$

∴ 28 líneas regantes

de la ecuación 3.30

$$CSM = \frac{1}{N^3} \left[ \frac{N}{6} + \frac{N^2}{2} + \frac{N^3}{3} \right]$$

$$N = 28$$

$$CSM = \frac{1}{(28)^3} \left[ \frac{28}{6} + \frac{(28)^2}{2} + \frac{(28)^3}{3} \right]$$

$$CSM = 0.351$$

Proponiendo diferentes diámetros para el cálculo se realizó la tabla III-6

para tubería P.V.C.

$$n = 0.009$$

TABLA III-6 Elección del diámetro.

Diámetro nominal		RD Norma inglesa	Presión de trabajo Kg/cm <sup>2</sup>	Diámetro interior "D" (m)	Velocidad Real ( $\frac{m}{seg}$ )	K	$h_{f_{Lc}}$ (m)
pulgadas	(mm)						
2.5	60	26	11.2	0.0557	3.28	4070.73	30.82
2.5	60	32.5	9.0	0.0674	2.24	1472.47	11.15
3	75	26	11.2	0.0686	2.16	1340.21	10.15
3	75	32.5	9.0	0.0821	1.51	514.13	3.89
4	100	26	11.2	0.1055	0.92	134.96	1.02
4	100	32.5	9.0	0.1073	0.88	123.32	0.93
4	100	41	7.1	0.1087	0.86	115.08	0.83
5	125	26	11.2	0.1305	0.60	43.42	0.33

Datos obtenidos por normas.

$$\text{Vel. Real} = \frac{Q}{A}$$

donde:

Q = gasto total del sistema = 0.008 m<sup>3</sup>/seg.

A = área de la tubería.

$$K = \frac{10.29 n^2}{D^{16/3}}$$

$$h_{f_{Lc}} = (K)(L)(Q^2)(CSM)$$

donde:

$h_{f_{Lc}}$  = Pérdida de carga en la línea de conducción.

L = Longitud de la línea de conducción = 336 m.

CSM = 0.351

De acuerdo con estos cálculos vemos que el diámetro de 4" clase RD-41 cumple con la condición de que la pérdida de carga por -- fricción oscile entre 0.84 y 1.35 sin embargo tiene una velocidad de 0.86 m/seg. que es menor a la propuesta por el método -- del análisis simplificado.

El diámetro de 3" clase RD-32.5 cumple con una velocidad de -- 1.51 m/seg, bastante cercana al rango propuesto por el método -- del Análisis Simplificado.

$$1.0 \leq V \leq 1.5 \text{ m/seg.}$$

y sin arrojar una pérdida muy grande. Dado que el diámetro de - 3" es mas económico que el de 4" se propone usar el diámetro de 3", resumiendo:

Pérdidas de carga por fricción	= 3.89 m.
Diámetro de proyecto	= 3" RD-32.5
Presión de trabajo	= 9.0 kg/cm <sup>2</sup>
Velocidad Real	= 1.51 m/seg.
Diámetro interior	= 0.0821 m.

#### 3.1.4 Diseño Hidráulico de la Línea Lateral o Regante.

La línea lateral tiene como límite uno o dos tamaños de tubo, para simplificar su operación, pero recientemente se utiliza - un solo tamaño de tubo y siempre que sea posible deberán colocarse en ángulo recto respecto a los vientos dominantes.

El sistema de distribución se tenderá a lo ancho de la zona en estudio, (plano No. 2) tomando como ancho promedio:

$$AP = 41 \text{ m.}$$

Cálculo Hidráulico.

Como se tiene un dispositivo de  
12 x 12

$$\frac{41}{12} = 3.417$$

∴ se tendrán 3 aspersores por línea regante.

Como se tienen 28 líneas laterales y 3 aspersores por línea.

$$28 \times 3 = 84 \text{ aspersores en total.}$$

- El gasto para cada aspersor será:

si tenemos que :

$$Q = 0.008 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

y tenemos 84 aspersores, por lo tanto el gasto por aspersor es igual a :

$$q_{\text{asp.}} = \frac{0.008 \text{ m}^3/\text{seg}}{84 \text{ aspersores}} = 0.000095 \frac{\text{m}^3}{\text{seg.}} = 5.71 \frac{\text{litros}}{\text{mín.}}$$

- El gasto de cada línea regante será igual a:

$$q_{\text{Lr}} = 3 \times 0.000095 = 0.000286 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

- Análisis del diámetro.

usando continuidad:

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

$$D = \sqrt{\frac{q^4}{V\pi}}$$

q = gasto por línea regante = 0.000286 m<sup>3</sup>/seg.

V = Velocidad en la tubería = 1.51 m/seg.

$$D = \sqrt{\frac{q^4}{V\pi}} = \sqrt{\frac{0.000286^4 (4)}{1.51 (\pi)}} = 0.016 \text{ m}$$

$$D = 1.6 \text{ cm}$$

Por lo tanto se tomará un diámetro comercial de 1" para la línea lateral ó regante.

$$D = 1''$$

- Obtención de pérdidas de carga.

pérdida por fricción  $h_{f_{Lr}}$  (Línea regante)

$$h_{f_{Lr}} = \frac{10.29 \times q_{Lr}^2 \times n^2 \times L}{D^{16/3}}$$

donde:

gasto en la línea regante  $q_{Lr} = 0.000286 \text{ m}^3/\text{seg.}$

para P.V.C  $n = 0.009$

longitud promedio de la  
línea regante  $L = 41 \text{ m}$

Diámetro interior de 1"  $D = 0.0235 \text{ m}$

$$\text{Velocidad Real} = \frac{0.000286 \text{ m}^3/\text{seg}}{\pi (0.0235)^2} = 0.66 \text{ m/seg}$$

$$h_{f_{Lr}} = \frac{10.29 (0.000286)^2 (0.009)^2 (41)}{(0.0235)^{16/3}}$$

$$h_{f_{Lr}} = 1.36 \text{ m}$$

- Pérdidas reales considerando el Coeficiente de salidas múltiples:

como se tienen 3 aspersores por línea regante.

$$C.S.M = \frac{1}{N^3} \left( \frac{N}{6} + \frac{N^2}{2} + \frac{N^3}{3} \right)$$

$$C.S.M = \frac{1}{3^3} \left( \frac{3}{6} + \frac{3^2}{2} + \frac{3^3}{3} \right)$$

$$C.S.M = 0.518$$

Por lo tanto la pérdida de carga real en las líneas regantes será:

$$h_{f_{Lr}} = 1.36 \times C.S.M$$

$$h_{f_{Lr}} = 1.36 \times 0.518$$

$$h_{f_{Lr}} = 0.70 \text{ m}$$

3.1.5 Pérdidas de carga Locales  $(h_L) = \frac{K V^2}{2g}$

A) Línea de Conducción  $(h_{Lc})$

1.-Para tes

$$K = 1.50$$

se utilizará la velocidad promedio de la parte de la línea de --  
conducción en la que se tienen tres conectadas, esto es entre la  
entrada del sistema y el penúltimo tramo de la línea de conduc-  
ción teniendo a la entrada del sistema:

$$V_i = 1.51 \text{ m/seg.}$$

$$Q_i = 0.008 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

donde:

$$V_i = \text{Vel. inicial}$$

$$Q_i = \text{gasto inicial}$$

Usando continuidad y como el área es constante, se tiene que --  
la velocidad final es :

$$V_f = \frac{V_i \cdot Q_f}{Q_i}$$

donde:

$$V_f = \text{velocidad final}$$

$$Q_f = \text{gasto final}$$

por otra parte

$$Q_f = Q_i - 26 q_{Lr}$$

donde:

$$q = \text{gasto en la línea regante} = 0.000286 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

sustituyendo

$$Q_f = 0.008 \text{ m}^3/\text{seg} - 26 (0.000286 \text{ m}^3/\text{seg})$$

$$Q_f = 0.000564 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

finalmente:

$$V_f = \frac{(1.51 \text{ m/seg}) (0.000564 \text{ m}^3/\text{seg})}{0.008 \text{ m}^3/\text{seg}}$$

$$V_f = 0.11 \text{ m/seg.}$$

la velocidad promedio será:

$$V_p = \frac{V_f + V_i}{2} = \frac{0.11 \text{ m/seg} + 1.51 \text{ m/seg.}}{2}$$

$$V_p = 0.81 \text{ m/seg.}$$

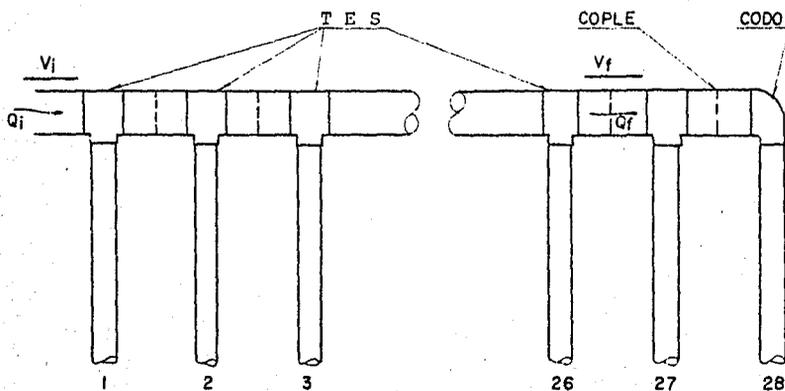


FIGURA III-4

$$h_{L_{Lc}} = 1.50 \frac{(0.81 \text{ m/seg})^2}{2(9.81 \text{ m/seg}^2)} = 0.050 \text{ m}$$

Como son 27 tes en la línea y un codo al final.

$$h_{L_{Lc}} = 27 \times 0.050 \text{ m}$$

$$h_{L_{Lc}} = 1.35 \text{ m}$$

2.- Para codo de  $90^\circ$

$$K = 0.50$$

$$Q = 0.008 \cdot 27 (0.000286) = 0.000286 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$V = \frac{1.51 (0.000286 \text{ m}^3/\text{seg.})}{0.008 \text{ m}^3/\text{seg.}} = 0.054 \text{ m/seg.}$$

$$h_{L_{Lc}} = 0.50 \frac{(0.054)^2}{2(9.81)} =$$

$$h_{L_{Lc}} = 0.00007 \text{ m.}$$

3.- Para Coples.

$$K = 0.50$$

utilizando Vel. promedio

$$V_p = \frac{V_1 + V}{2} = \frac{1.51 + 0.054}{2} = 0.782 \text{ m/seg.}$$

$$h_{L_{Lc}} = 0.50 \frac{(0.782)^2}{2(9.81)} = 0.02 \text{ m}$$

La tubería de P.V.C se encuentra disponible en tramos de 6 a

10 m. (ver capítulo IV pag.195), para evitar recortes y desperdicios se utilizan tramos de 6 m. con la necesidad de un cople, - por espacio entre líneas regantes y uno mas entre la primera - línea y la bomba dando un total de 28 coples.

$$h_{L_{LC}} = 0.02 \times 28$$

$$h_{L_{LC}} = 0.56 \text{ m.}$$

B) En la línea regante ( $h_{L_{Lr}}$ )

1.- Tes para salida de válvulas de aspersor.

$$K = 1.50$$

La velocidad en la línea regante.

$$V = 0.66 \text{ m/seg.}$$

$$h_{L_{Lr}} = 1.50 \frac{(0.66 \text{ m/seg})^2}{19.62 \text{ m/seg}^2} = 0.03 \text{ m}$$

Como son 3 aspersores por línea.

$$h_{L_{Lr}} = 0.03 \times 3 = 0.09 \text{ m}$$

2.- Para coples.

$$K = 0.50$$

$$V = 0.66 \text{ m/seg.}$$

$$h_{L_{Lr}} = 0.50 \frac{(0.66 \text{ m/seg})^2}{19.62 \text{ m/seg}^2} = 0.01 \text{ m}$$

como se utilizan 3 coples por línea.

$$h_{L_{Lr}} = 0.04 \times 3 = 0.03 \text{ m}$$

NOTA: Los valores para K se obtuvieron de la tabla III-9 pag. 126

TOTAL DE PERDIDAS LOCALIZADAS.

Concepto	Accesorios	Pérdida de carga en (m)
Línea de conducción	Tes	1.35
	codo 90°	0.00007
	coples	0.56
Línea regante	tes para salida de válvula de aspersor.	0.09
	coples	0.03
	Total	2.03 m

$$h_L = 2.03 \text{ m}$$

Además se debe considerar una carga necesaria para el funcionamiento de los aspersores (especificado por el fabricante, referencia No. 27) esta varía generalmente 14 y 49 m, en particular para el aspersor elegido (ver pag.21) es de 14 m.

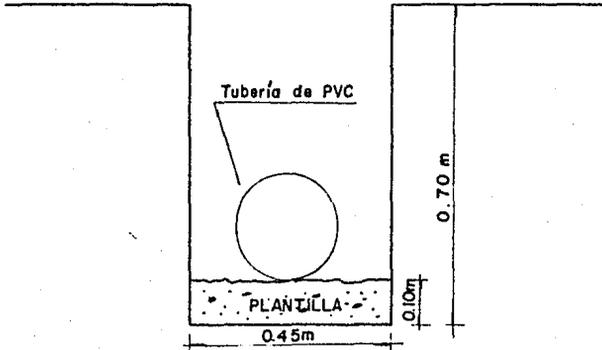
$$h_g = 14 \text{ m}$$

Carga total necesaria para el funcionamiento del sistema:

$$H_t = h_g + h_{f_{Lc}} + h_{f_{Lr}} + h_L$$

$$H_t = 14.0 + 3.89 + 0.7 + 2.03$$

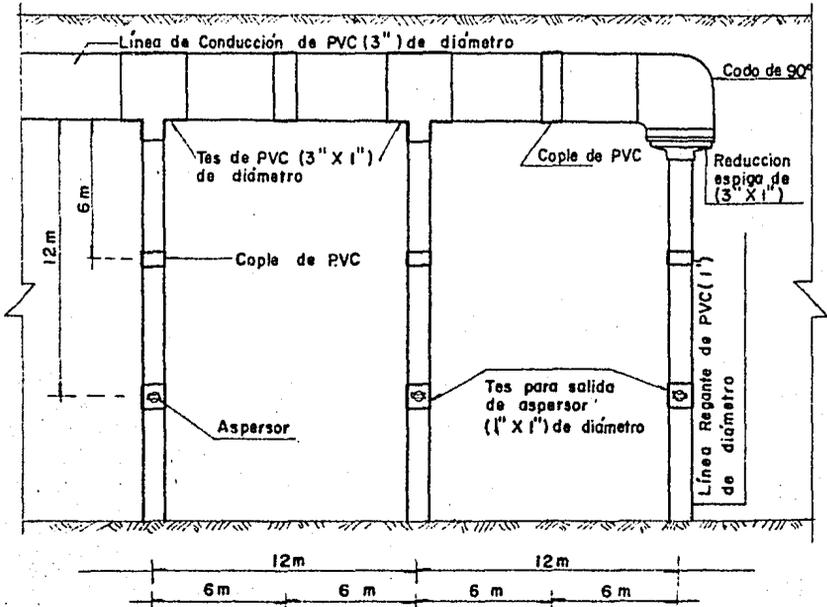
$$H_t = 20.62 \text{ m}$$



PERFIL

NOTA:

Las dimensiones de la zanja estan dados por los fabricantes, dependiendo del diámetro de la tubería.



PLANTA

### III-3.2 RIEGO POR GOTEO.

#### 3.2.1 Factores que intervienen en el diseño hidráulico de riego por goteo.

A) Gasto por gotero.

depende del cultivo, del suelo y del tipo de goteros.

B) Separación entre goteros.

depende de la textura del suelo y del cultivo.

C) Número de goteros.

El número de goteros por línea, dependen de la carga hidráulica disponible, del tipo de gotero, del diámetro de la tubería y de la separación entre goteros.

D) Diámetro de las tuberías.

Es el factor que se debe determinar, para que los sistemas de riego por goteo sean económicos y en general depende de los demás factores. Del diámetro de las tuberías depende el tipo de flujo (Laminar, turbulento o de transición) y las pérdidas de carga en las tuberías. En algunos casos la topografía y el tamaño de las parcelas limita la variación de diámetros necesarios para el sistema de distribución del agua.

F) Viscosidad cinemática del agua.

Esta disminuye cuando aumenta la temperatura y no es afectada apreciablemente con cambios de presión. La viscosidad cinemática entra como factor en la determinación del número de REYNOLDS.

G) El número de REYNOLDS.

Caracteriza el tipo de flujo:

Laminar	No Reynolds < 2000
flujo de transición	2000 < No Reynolds < 4000
turbulento	No Reynolds < 4000

H) Rugosidad Relativa.

Es el coeficiente de dividir el tamaño de las deformaciones -- del material de la tubería, entre el diámetro interior de la misma.

I) Fórmula de pérdidas de carga por fricción.

Se utiliza la de DARCY-WEISBACH en la cual entre otros, interviene el factor de pérdidas de cargas por fricción, que depende de la rugosidad relativa y del No. de REYNOLDS.

J) Coeficiente de pérdidas de carga por fricción en tuberías con salidas múltiples.

Este coeficiente interviene para evitar el desperdicio de --- tiempo al calcular las pérdidas de carga por fricción en tantos tramos de tubería, como goteros o salidas tenga la línea.

K) Pérdidas de carga localizada.

Estas pérdidas de carga son producidas por reducciones de tuberías, conexiones, válvulas, filtros ó aditamentos para el -- control de la red de distribución por los goteros. El tipo de gotero influye, por que en el mercado se encuentran notables diferencias en el sistema de conexión o adaptación de los goteros a las tuberías.

### L) Topografía.

Es uno de los factores claves para el diseño hidráulico del sistema, siendo indispensable contar con planos de curvas de nivel, para conocer la topografía general.

### M) Carga hidráulica total disponible.

La carga total disponible es un factor limitante para el tipo de goteros que se puede utilizar, debido a que el diseño de estos los ha dividido en dos grupos.

El primer grupo permite la regulación de la salida del agua y generalmente requiere menos de 5 m. de carga hidráulica para su funcionamiento, tiene las siguientes inconveniencias;

Cada gotero debe calibrarse cuando se instala y requiere mayor cantidad de mano de obra para su operación.

El segundo grupo no permite la regulación de la salida del agua, o sea, están diseñados para funcionar con gasto constante, por lo que requieren cargas hidráulicas específicas para cada tipo de gotero y generalmente mayores de 7.5 metros.

La carga total disponible, debe ser mayor que la suma de pérdidas de carga necesarias para entregar el gasto requerido, en el último gotero del sistema y se puede representar de la siguiente forma:

$$H_t = h_g + hf_{Lr} + hf_{Lc} + hf_a + h_L + h_r$$

donde:

$H_t$  = Carga hidráulica total necesaria.

$h_g$  = Carga necesaria para el funcionamiento de los goteros.

$h_{Lr}^f$  = pérdidas de carga por fricción en la línea regante.

$h_{Lc}^f$  = pérdidas de carga por fricción en las líneas de conducción.

$h_a^f$  = pérdidas de carga por fricción en la línea abastecedora.

$h_L$  = pérdidas de carga localizadas.

$h_v$  = carga de velocidad en la salida de goteros.

La carga de velocidad en la salida de los goteros es prácticamente nula, por que el agua debe salir sin velocidad.

### 3.2.2 Generalidades del Cálculo.

#### A) Procedimiento general.

Se requiere obtener un plano topográfico, para obtener dos o tres alternativas de la localización de las líneas principal y regantes. Dependiendo del cultivo y de la textura del suelo, se localizarán las líneas regantes y la separación entre goteros.

Al localizar las tuberías en el plano se obtienen los datos de longitudes de cada tipo de líneas y número de salidas por línea.

Con el tipo de goteros y el Uso Consuntivo del cultivo se obtiene el gasto necesario por gotero.

Se propone un diámetro por cada tipo de línea (principal y regante), se determina la velocidad media del agua a la entrada de la línea, con los datos del número de goteros o salidas y el gasto por gotero o salida.

Con la temperatura máxima promedio del mes más cálido se obtiene la viscosidad cinemática del agua. Generalmente el agua se calienta a temperatura más alta que la ambiente.

El tipo de flujo que se presenta se caracteriza con el número de REYNOLDS, que se obtiene con la velocidad del agua, el diámetro de la tubería y la viscosidad cinemática del agua.

Con el diámetro de las tuberías y el tamaño de las deformaciones del material, se obtiene la rugosidad relativa de las tuberías para cada caso.

Con la rugosidad relativa y el número de REYNOLDS se obtiene el factor de pérdidas de carga por fricción correspondiente a cada tubería.

Con la fórmula de Darcy-WEISBACH se calcula la pérdida de carga por fricción correspondiente a la longitud total de la tubería con la velocidad de entrada del agua a la línea, luego se multiplica por el coeficiente de salidas múltiples para obtener la pérdida de carga por fricción real en la tubería.

Se consideran las pérdidas de carga localizadas y se determina la carga total necesaria para el funcionamiento del sistema, tomando en cuenta la topografía del terreno.

B) Fórmulas y gráficas que intervienen en el diseño hidráulico.

1.- Fórmula para obtener la velocidad del agua en el primer tramo de la tubería de la línea regante:

$$\text{Partiendo de } V = \frac{Q}{A} \text{ ----- } 3.35$$

donde:

V = velocidad media del agua

Q = gasto de entrada a la línea regante.

A = área de la sección transversal interior de la tubería

Considerando que el gasto de trabajo de cada gotero es prácticamente igual y representando por (q) se tiene

$$Q = nq \text{ ----- } 3.36$$

donde:

n = número de goteros

q = gasto de trabajo por gotero.

sustituyendo (3.36) en (3.35)

$$V = \frac{nq}{A} \text{ ----- } 3.37$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = 0.785 D^2 \text{ ----- } 3.38$$

donde:

D = diámetro interior de la tubería.

sustituyendo (3.38) en (3.37) se tiene

$$V = \frac{nq}{0.785 D^2} \text{ ----- } 3.39$$

donde:

V = vel. media del agua al entrada de la línea regante.

- 2.- Fórmula para calcular la velocidad del agua a la entrada de la tubería abastecedora de la línea regante.

Procediendo de una manera análoga que la anterior se obtiene:

$$V_1 = \frac{n_1 q_1}{0.785 D_1^2} \text{-----} 3.40$$

donde:

$V_1$  = Velocidad media del agua a la entrada de la tubería abastecedora o principal de las líneas regantes.

$n_1$  = número de líneas regantes

$q_1$  = gasto de entrada a cada línea regante

$D_1$  = diámetro interior de la tubería abastecedora o principal.

- 3.- Curva de Viscosidad Cinemática del Agua.

Con la temperatura como dato se obtiene la viscosidad cinemática de la gráfica III-1 para obtener el número de Reynolds.

- 4.- Fórmulas para calcular el número de REYNOLDS.

$$Re = \frac{VD}{\nu} \text{-----} 3.41$$

donde:

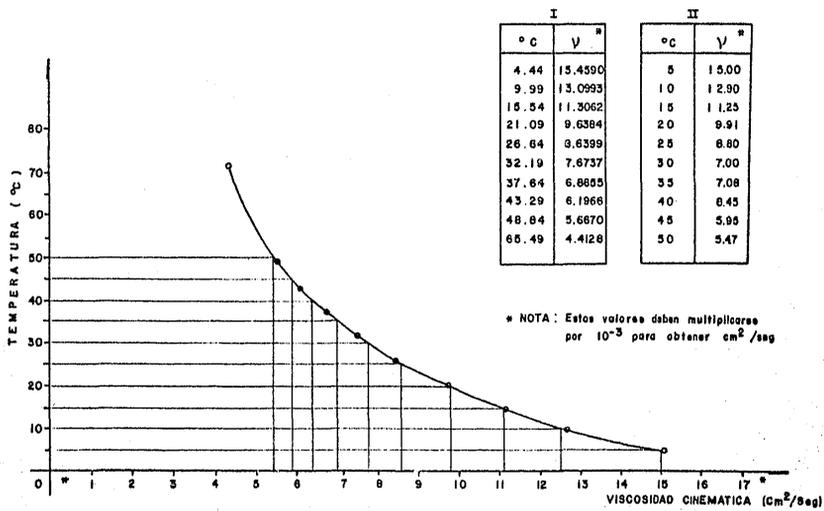
Re = No de REYNOLDS

V = Velocidad del agua.

D = diámetro de la tubería.

$\nu$  = viscosidad cinemática del agua.

- 5.- Fórmula para calcular la rugosidad relativa.



GRAFICA III-I VARIACION DE LA VISCOSIDAD DEL AGUA EN FUNCION DE LA TEMPERATURA

$$R.R = \frac{e}{D} \text{ ----- } 3.42$$

donde:

R.R = rugosidad relativa.

e = tamaño de las imperfecciones del material de la tubería (tabla III-7)

D = diámetro interior de la tubería.

6.- Diagrama para determinar el factor fricción.

Con la rugosidad relativa y el número de Reynolds, se localiza en la figura III-2, el factor de pérdida por fricción (f).

7.- Fórmula para determinar las pérdidas de carga por fricción de DARCY-WEISBACH.

$$hf = f \frac{L V^2}{D 2g} \text{ ----- } 3.43$$

donde:

hf = pérdida de carga por fricción.

f = factor de pérdida de carga por fricción (figura III-2)

L = longitud de la tubería.

V = velocidad del agua.

d = diámetro interior de la tubería

g = aceleración de gravedad

En forma práctica es aceptable la fórmula de DARCY-WEISBACH para determinar las pérdidas de carga por fricción, sin embargo se han hecho algunos estudios observándose que las pérdidas de carga son directamente proporcionales a la velocidad media del agua elevada a una potencia que varía de 1.7 a 2, siendo la máxima para flujo turbulento.

TABLA III.-7 VALORES DEL TAMAÑO DE LAS IMPERFECCIONES DEL MATERIAL EN TUBERIAS (e)

CLASE DE TUBO O CUBIERTA INTERIOR (NUEVO)	VALORES (CM)	
	R A N G O	VALOR DE DISEÑO
1-Acero remachado	0.091-0.914	0.183
2-Acero soldado	0.003-0.009	0.002
3-Cobre	0.000152	0.000152
4-Concreto	0.030-0.305	0.1219
5-Fierro forjado	0.003-0.009	0.006
6-Fierro fundido bañado de asfalto (chapopote)	0.006-0.018	0.012
7-Fierro fundido forrado con material bituminoso	0.00024	0.00024
8-Fierro fundido forrado de concreto	0.00024	
9-Fierro fundido sin revestimien to	0.0122-0.061	0.024
10-Fierro fundido torneado centrifugamente	0.0003	0.0003
11-Fierro galvanizado	0.006-0.024	0.015
12-Latón o bronce	0.000152	0.000152
13-Madera lisa	0.0183-0.091	0.061
14-Plástico o hule	0.00015	0.00015

NOTA: Tabla obtenida de la referencia No 23



8.- Tabla de Coeficientes de pérdidas por fricción, para tuberías con salidas múltiples.

Considerando una tubería con datos constantes de: longitud, diámetro, gasto de entrada o velocidad de entrada y factor de pérdidas de fricción, con una sola salida al final de la tubería, la pérdida de carga total por fricción, estará dada por la siguiente expresión.

$$h_f = f \frac{L V^2}{D 2g} \text{ ----- } 3.44$$

ahora considerando los mismos datos, con la excepción de la salida, que en este caso serán dos, una a la mitad de la tubería y otra al final, de tal manera que saldrá igual gasto por cada una sumando entre los dos, será un total igual al gasto de entrada del caso anterior entonces las pérdidas de carga en la primera mitad de la tubería serán:

$$h_{f_1} = f \frac{L}{2} \frac{V_1^2}{2gD} = f \frac{L}{2} \frac{V_1^2}{2gD} \left(\frac{1}{2}\right) \text{ -- } 3.45$$

las pérdidas de carga correspondientes a la segunda mitad estarán dadas por:

$$h_{f_2} = f \frac{L(V_1/2)^2}{2D 2g} = f \frac{L}{2} \frac{V_1^2}{D 2g(4)} = f \frac{L V_1^2}{D 2g} \left(\frac{1}{8}\right) \text{ ---- } 3.46$$

la velocidad en el segundo tramo será la mitad de la correspondiente al primero, debido a que las características de la tubería no han cambiado y se demuestra de la siguiente forma:

$$Q_e = A (V_e) \text{ ----- } 3.47$$

donde:

$Q_e$  = gasto de entrada a la tubería

$A$  = área de la tubería

$V_e$  = velocidad de entrada del agua en la tubería

$$si = Q_e = Q_{s_1} + Q_{s_2} \text{ Y } Q_{s_1} = Q_{s_2} \text{ ----- } 3.48$$

donde:

$Q_{s_1}$  = gasto de la salida a la mitad de la tubería

$Q_{s_2}$  = gasto de la salida al final de la tubería.

entonces

$$Q_s = \frac{Q_e}{2} \text{ ----- } 3.49$$

Sustituyendo los gastos en función del área y la velocidad se tiene:

$$A V_2 = A \frac{V_e}{2} \text{ ----- } 3.50$$

Dividiendo los dos miembros de la ecuación anterior entre el área de la tubería, queda:

$$V_2 = \frac{V_e}{2} \text{ ----- } 3.51$$

entonces las pérdidas de carga por fricción en los 2 tramos de la tubería son:

$$hf_t = hf_1 + hf_2 = f \frac{L V_1^2}{D2g} \left(\frac{1}{2}\right) + f \frac{L V_1^2}{D2g} \left(\frac{1}{8}\right)$$

$$hf_t = f \frac{L V_1^2}{D 2g} \left( \frac{1}{2} + \frac{1}{8} \right) = \frac{L V_1^2}{D 2g} \left( \frac{5}{8} \right)$$

$$hf_t = f \frac{L V_1^2}{D 2g} (0.625) \text{ ----- } 3.52$$

De esto se deduce que si se determina la pérdida de carga por fricción en la tubería, tomando como base la velocidad a la entrada, basta con multiplicarla por (0.625) para obtener las pérdidas de carga en la misma tubería, solo que con dos salidas de agua, una de la mitad y otra al final.

De manera análoga al considerar tres salidas se tiene:

$$hf_t = \frac{f L V_1^2}{3D2g} + f L \frac{(2V_1)^2}{3D2g} + \frac{f L (\frac{V_1}{3})^2}{3D 2g}$$

$$hf_t = \frac{f L V_1^2}{3D2g} + \frac{f L \frac{4V_1^2}{9}}{3 D2g} + \frac{f L \frac{V_1^2}{9}}{3D2g}$$

$$hf_t = \frac{f L V_1^2}{D2g} \left( \frac{1}{3} \right) + \frac{f L V_1^2}{D2g} \left( \frac{4}{27} \right) + \frac{f L V_1^2}{D2g} \left( \frac{1}{27} \right)$$

$$hf_t = \frac{f L V_1^2}{D2g} \left( \frac{1}{3} + \frac{4}{27} + \frac{1}{27} \right) = \frac{f L V_1^2}{D2g} \left( \frac{9}{27} + \frac{4}{27} + \frac{1}{27} \right)$$

$$hf_t = \frac{f L V_1^2}{D 2g} \left( \frac{14}{27} \right) = \frac{f L V_1^2}{D2g} (0.518) \text{ ----- } 3.53$$

Esto significa que al multiplicar las pérdidas de carga correspondientes a toda la tubería (calculada con la velocidad

de entrada, por (0.518), se obtiene la pérdida de carga por fricción correspondiente a tres salidas con el mismo gasto y equidistantes entre si. Procediendo análogamente se obtiene los valores para diferentes números de salidas.

9.- Fórmula para calcular las pérdidas de carga localizadas -

$$H_L = K \frac{V^2}{2g} \text{ ----- } 3.54$$

donde:

- $H_L$  = Pérdidas de carga localizada
- $K$  = Coeficiente de pérdida de carga localizada.
- $V$  = Velocidad del agua
- $g$  = aceleración de la gravedad.

C) Número de Goteros por línea reqante.

1.- Número de REYNOLDS.

En general para la solución de problemas de tuberías en hidráulica, no se toma en cuenta el número de REYNOLDS, por que normalmente se presenta el flujo turbulento.

En el caso del diseño hidráulico del sistema de riego por goteo, se debe considerar el número de REYNOLDS por que interesa un flujo estable y uniforme. El agua en las tuberías del sistema de riego por goteo, se calienta mucho en el campo, por lo cual es indispensable tomar en cuenta la viscosidad cinemática del agua.

Para que el flujo no adquiriera características de alta turbulencia en condiciones extremas (rugosidad relativa 0.05), el número de REYNOLDS no debe ser mayor 13,000.

TABLA III-8 COEFICIENTE DE PERDIDAS DE CARGA  
POR FRICCIÓN EN TUBERIAS CON SALIDAS  
MÚLTIPLES

Número	N de salidas	CSM Coeficiente de salidas múltiples
	1	1.0 00
	2	0.6 25
	3	0.5 18
	4	0.4 69
	5	0.4 40
	6	0.4 21
	7	0.4 08
	8	0.3 98
	9	0.3 91
	10	0.3 85
	11	0.3 80
	12	0.3 76
	13	0.3 73
	14	0.3 70
	15	0.3 67
	16	0.3 65
	17	0.3 61
	18	0.3 61
	19	0.3 60
	20	0.3 59
	22	0.3 57
	24	0.3 55
	26	0.3 53
	28	0.3 51
	30	0.3 50
	40	0.3 45
	50	0.3 43
	60	0.3 41
	70	0.3 40
	80	0.3 39
	82	0.3 39
	84	0.3 39
	90	0.3 39
	100	0.3 38
	120	0.3 38
	140	0.3 37
	150	0.3 37
	160	0.3 37
	170	0.3 36
	180	0.3 36

TABLA III-9 PERDIDAS DE CARGA LOCALIZADA

CONCEPTO	VALVULA DE LA PERDIDA DE CARGA
1.-Entrada de tanque a tubo: - con filo	$0.50 \frac{V_2^2}{2g}$
- proyectado dentro del tanque	$1.00 \frac{V_2^2}{2g}$
- redondeada	$0.05 \frac{V_2^2}{2g}$
2.-Salida de tubo a tanque	$1.00 \frac{V_1^2}{2g}$
3.-Ensonchamiento repentino	$\frac{(V_1 - V_2)}{2g}$
4.-Contracción repentina	$K_c \frac{V_2^2}{2g}$
5.-Codo, Coples y Válvulas	$K \frac{V_2^2}{2g}$
Valores de "K"	
Codos de 45° -----	0.35-0.45
Codos de 90° -----	0.50-0.75
Tees -----	1.50-2.00
Válvulas de compuerta abierta-----	0.25
Válvulas Check	3.00

VALORES OBTENIDOS DE FLUID MECHANICS AND HIDRAULIC  
RENALD V. GILES

TABLA III-10 VALORES DE "Kc" PARA CONTRA  
CCION REPENTINA

$\frac{d_1}{d_2}$	Kc
1.2	0.08
1.4	0.17
1.6	0.26
1.8	0.34
2.0	0.37
2.5	0.41
3.0	0.43
4.0	0.45
5.0	0.46
6.0	0.47

VALORES OBTENIDOS DE FLUID MECHANIC AND  
HIDRAULICS RENALD V. GILES

Cuando la rugosidad relativa es 0.025, los números de REYNOLDS mayores que 29,000, representan flujos de alta turbulencia.

De datos obtenidos en pruebas se concluyó, que para proyectar líneas regantes se puede considerar el número de REYNOLDS = 5,000 para goteros de gasto constante sin regulación y el número de REYNOLDS = 10,000 para goteros de gasto constante con regulación.

El número máximo de goteros por línea debe ser especificado por el vendedor del sistema.

NOTA: El gasto se hace constante al recortar o alargar el microtubo de salida de acuerdo a la presión disponible.

2.- Fórmula para determinar el número de goteros o salidas por tubería.

partiendo de la ecuación 3.39

$$V = \frac{ng}{0.785 D^2}$$

donde:

- V = Vel. media del agua
- n = número de goteros
- g = gasto por gotero
- d = diámetro de la tubería

Considerando la fórmula para determinar el número de REYNOLDS:

$$Re = \frac{VD}{\nu} \text{ ----- } 3.55$$

donde:

- Re = Número de REYNOLDS  
 V = velocidad media del agua  
 D = diámetro de la tubería  
 $\nu$  = viscosidad cinemática del agua

y despejando a "V"

$$V = \frac{Re \nu}{D} \text{ ----- } 3.56$$

igualando 3.39 y 3.56

$$\frac{n q}{0.785 D^2} = \frac{Re \nu}{D}$$

despejando a (n) y simplificando:

$$n = \frac{0.785 D Re \nu}{q} \text{ ----- } 3.57$$

donde:

n = número de goteros, o salidas

D) Generalidades de Aplicación.

1.- Cuando regar.

Al proporcionar el agua provocando en la zona radicular una condición potencial (ó muy cercano al límite de capacidad de campo) es evidente que la planta tendrá que ejercer un mínimo de esfuerzo para absorber el agua y los nutrientes; de esta manera la planta se ahorra una gran cantidad de energía que utilizará en desarrollarse y producir más y mejor.

Esto plantea el problema de que si el suelo es de textura ligera, perdería fácilmente el agua que estuviera en condiciones de saturación o un poco arriba de la capacidad de campo, lo cuál - se evita regando diariamente.

Por lo anterior se deduce que es necesario regar diariamente -- aplicando la cantidad de agua que la planta consume de acuerdo con las condiciones climatológicas y según su desarrollo, es decir se debe aplicar solamente el uso consuntivo de las plantas.

Todas las plantas realizan su máxima función o sea la fotosíntesis durante las horas del día. Al realizar esta función las plantas elevan su temperatura por su actividad biológica y por transformación de energía lumínica para enfriar su organismo y no morir quemadas, absorben el agua principalmente a través de las raíces, por lo tanto durante la noche en que no habrá esa función será muy poca la cantidad de agua que requiera, prácticamente es nula, es por esta razón que no se justifica regar - durante la noche.

Existen pruebas que han mostrado la posibilidad de obtener buenos resultados regando cada tercer día. En general, en el caso de árboles de hoja caduca (durazno, pera, manzana, ciruela, -- etc. ) y en época de invierno, sólo se debe dar un riego cada semana.

## 2.- Cuanto regar.

La cantidad de agua por aplicar, se debe calcular en volumen y puesto que en la estimación del uso consuntivo se obtiene - una lámina de riego es muy importante saber cuál es el área - que debe considerarse para este cálculo; para lo cual, se --- agrupan los cultivos en anuales y perenes.



b.2.- Caso de Plantaciones ya establecidas. { En este caso según el tamaño de planta de que se trate, la cantidad de agua que se aplique - desde el principio deberá ser la máxima necesaria; aquí el problema más serio es la forma de aplicar el agua.

### 3.- Como regar.

Consiste fundamentalmente en la forma como se deben distribuir los goteros, en relación con las plantas, haciendo la consideración de que está reiteradamente comprobado que tubería regante y goteros deben estar colocados sobre el terreno ya que los goteros enterrados nunca han funcionado a satisfacción.

#### a) Cultivos Anuales.- (especialmente hortalizas, maíz y flores)

La distribución en el terreno será de la siguiente manera:

- 1°.- Usar una línea de goteros por cada 2 hileras de plantas, colocada la línea de goteros al centro de las hileras de plantas.
- 2°.- Los goteros deben colocarse a cada 50 cm. como máximo.
- 3°.- De ser posible, que la descarga de los goteros no sea mayor de 2 litros/hora.
- 4°.- La separación entre hileras de plantas debe ser entre 60 y 70 cm. (fig. III-3)

#### b) Cultivos Perenes.- (árboles frutales incluyendo la vid)

##### b.1) Plantaciones Nuevas:

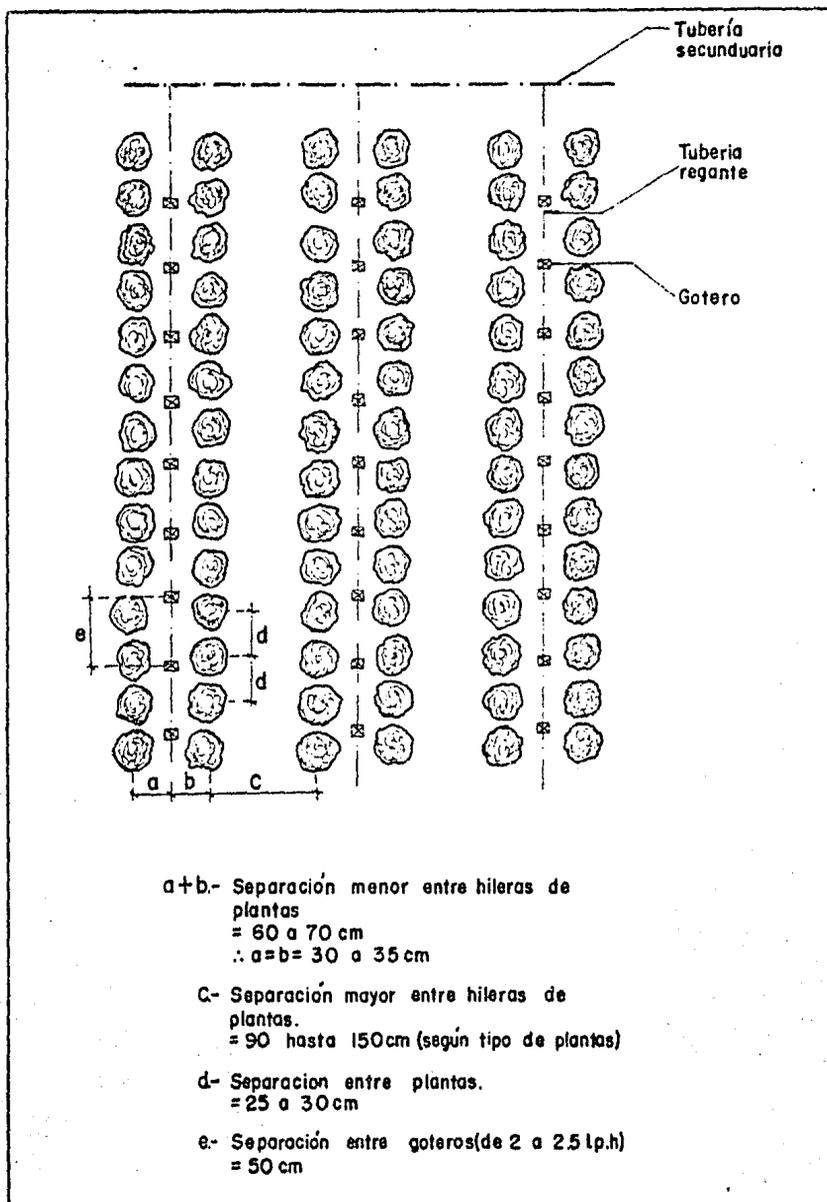


FIG. III-3 . DISTRIBUCION DE GOTEROS EN CULTIVOS ANUALES

Para aplicar el agua, debe tomarse en cuenta los siguientes aspectos.

- 1° Usar una línea de goteros por hilera de árboles.
- 2° Usar goteros con descarga no menor de 4 litros  
hora
- 3° La separación entre goteros no debe ser mayor de 1.00 m
- 4° La colocación del gotero más cercano a un árbol, debe estar a una distancia no menor de 25 cm.

además debe considerarse 3 casos.

#### b.1.1 Caso de árboles de área pequeña.

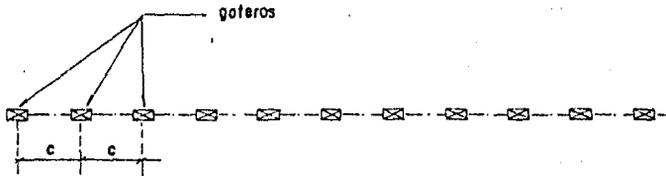
Se deben usar 3 goteros por árbol colocadas en línea; en el caso de la vid, se usan simplemente goteros cada metro. (fig. -- III-4)

#### b.1.2 Caso de árboles de área mediana:

A estos árboles generalmente se les asignan entre 4 y 5 goteros, en línea dependiendo de la cantidad de agua que haya que aplicar, para no regar durante la noche (fig. III-5 y III-6)

#### b.1.3 Caso de árboles grandes.

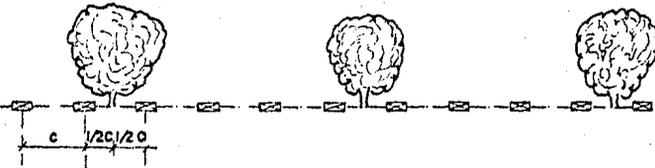
En este caso generalmente se usan 6 ó 7 goteros de los cuales se colocan 4 ó 5 en línea y 2 en cruz (fig. III-7 y III-8).



c = separación entre goteros  
 = entre 75 y 100 cm según tipo de suelo  
 (goteros de 2.0 a 2.5 l.p.h)

CASO DE VID O PLATANOS  
 (árboles de áreas pequeñas)

FIG. III-4

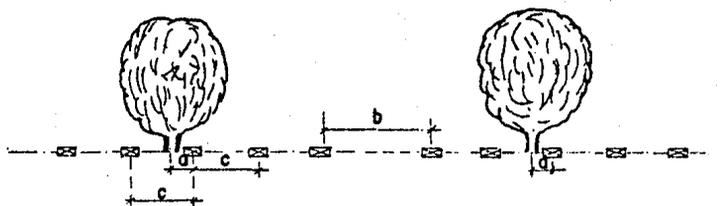


c = separación entre goteros  
 = 100 cm  
 (goteros de 4 a 6 l.p.h)

PLANTACIONES NUEVAS, ARBOLES DE AREA MEDIANA  
 (caso de cuatro goteros por árbol)

FIG. III-5

FIGS. III-4 y III-5 DISTRIBUCION DE GOTEROS PARA ARBOLES DE AREA PEQUEÑA Y MEDIANA



- a.- Distancia no menor de 25cm
- b.- Distancia variable no menor de 1.00m
- c.- Separación entre goteros de 1.00m

Si se tienen árboles de áreas pequeñas que necesiten 5 o 6 goteros y no se puedan colocar en línea por que la distancia entre árboles sea menor, se colocarán 2 goteros en cruz como el caso de árboles de área grande

FIG. III-6 DISTRIBUCION DE GOTEROS PARA ARBOLES DE AREA MEDIANA (Caso de 5 goteros por árbol)

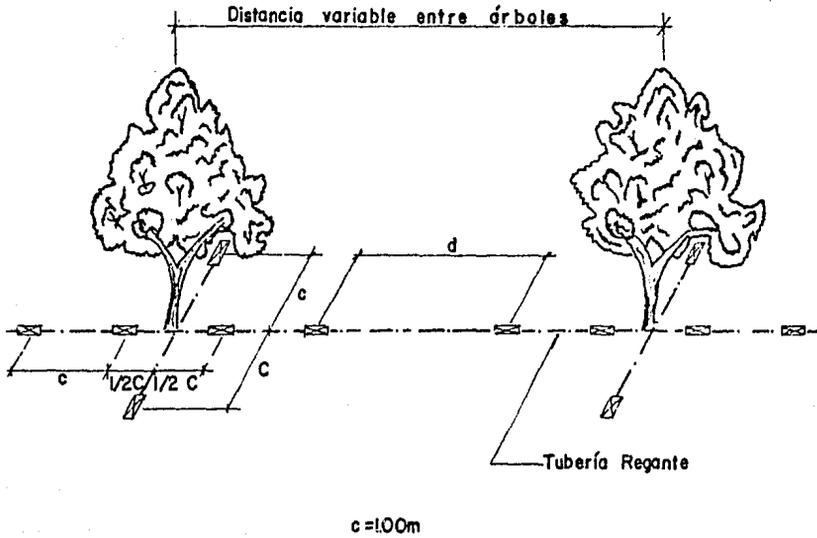


FIG. III-7 CASO DE ARBOLES DE AREA GRANDE CON 6 GOTEROS DE 4 l.p.h POR ARBOL

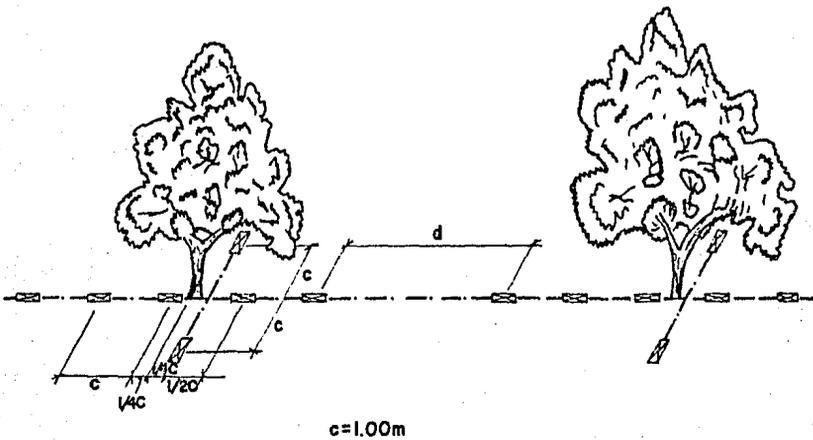


FIG. III-8 CASO DE ARBOLES DE AREA GRANDE CON 7 GOTEROS DE 4 l.p.h POR ARBOL

## b.2) Plantaciones ya establecidas.

Para este caso se deben tomar precauciones, pues se ha comprobado que si no se hace la instalación en forma adecuada, las plantas resienten considerablemente el cambio hacia el régimen de riego por goteo, lo cual se debe principalmente a que el sistema radicular ya está adaptado y distribuido por toda la extensión del terreno y con el nuevo método tendrá que limitar su desarrollo a una zona menor. Es necesario aclarar que esto sucederá, con plantaciones mayores de 2 años; es decir, que en árboles de 2 años o menos, no hay trastornos al cambiar el método de riego.

De acuerdo con lo anterior la cantidad de agua y goteros se debe estimar como sigue.

### b.2.1 Árboles Medianos.

Se deben colocar de 5 a 6 goteros de 4 o 5 litros/hora, por árbol, formando un círculo al rededor del tronco del árbol, de 1.80 a 2.00 m de diámetro, la cantidad de agua debe ser considerando un área de influencia de  $25 \text{ m}^2$  por árbol.

### b.2.2 Árboles Grandes.

En este caso se deben colocar de 6 a 7 goteros de 4 a 5 litros/hora, formando un círculo alrededor del tronco del árbol de un diámetro de 2.80 a 3.00 m.

La cantidad de agua se deberá calcular considerando un área de influencia de  $50 \text{ m}^2$ .

### 3.2.3 Obtención del tiempo de riego.

Siendo la lechuga un cultivo anual, se recomienda para este tipo de cultivos (ver pag. 131), efectuar el riego diario o cada tercer día y usar goteros con gasto máximo de 2litros/hora, - para dicho cálculo se efectuarón las siguientes tablas.

TABLA III-II OBTENCION DEL TIEMPO DE RIEGO DIARIO.

MES	U.C.A (cm)	U.C.D (cm)	Vol. (lit)	T I E M P O D E R I E G O .								
				q= 0.273 (L/h)	q= 0.333 (L/h)	q= 0.666 (L/h)	q= 0.757 (L/h)	q= 1.000 (L/h)	q= 1.333 (L/h)	q=1.514 (L/h)	q= 1.666 (L/h)	q=2.000 (L/h)
E	7.225	0.241	0.844	3.092	2.535	1.267	1.115	0.844	0.633	0.557	0.507	0.422
F	4.806	0.160	0.560	2.051	1.682	0.841	0.740	0.560	0.420	0.370	0.336	0.280
M												
A												
M												
J												
J												
A												
S	6.350	0.212	0.742	2.718	2.228	1.114	0.980	0.742	0.557	0.490	0.445	0.371
O	8.556	0.285	0.998	3.656	2.997	1.498	1.318	0.998	0.749	0.659	0.599	0.499
N	8.403	0.280	0.980	3.590	2.943	1.471	1.295	0.980	0.735	0.647	0.588	0.490
D	8.140	0.271	0.949	3.476	2.850	1.425	1.254	0.949	0.712	0.627	0.570	0.475

donde:  
U.C.A = Uso Consuntivo Ajustado.

Se utilizó el mismo Uso Consuntivo ajustado, que el de la tabla III-5 ya que se debe considerar que al aplicar el agua de riego a las plantas por medio de este sistema (goteo), se disminuye en gran parte el componente evaporación del Uso Consuntivo ello -- podría inducir a pensar que en este caso el Uso Consuntivo es -- menor, pero por otro lado, se debe considerar que la transpiración en gran parte obedece a la tendencia a formar un equilibrio entre la presión de vapor que hay en el ambiente y la que hay en los estomas, por lo cual tendrá que incrementarse la transpiración al haber menor vapor de agua en el ambiente puesto que la evaporación directa del suelo como ya se dijo es mucho menor en este sistemas de riego (figura III-9 y III-10).

Por esta razón, y salvo rectificaciones que se hagan con futuras investigaciones, el Uso Consuntivo seguirá siendo el mismo tanto para riego por aspersion como para goteo y por tanto el ahorro de riego solo será en el aspecto de conducción.

$$\text{U.C.D.} = \text{Uso Consuntivo diario} = \frac{\text{U.C.A. (cm)}}{\frac{30 \text{ días}}{\text{mes}}}$$

Volumen diario = Uso Consuntivo X Area de influencia.

Como se trata de sembrar lechuga, perteneciente a los cultivos anuales visto anteriormente, se recomienda la distribución en el terreno de la sig. manera (Pag. 132 fig. III-3).

- Separación entre hileras de plantas debe ser entre 60 y 70 cm.
- Los goteros deben colocarse cada 50 cm como máximo.
- Usar una línea de goteros por cada 3 hileras de plantas, colocada la línea de goteros al centro de las líneas de plantas. -- Estos datos nos sirven para el cálculo del área de influencia.

$$A = \text{Area de influencia} = \left( \frac{\text{separación entre}}{\text{líneas de plantas}} \right) \left( \frac{\text{separación}}{\text{entre goteros}} \right)$$

utilizando 70 cm para la separación entre plantas

tendremos:

$$A = 70 \text{ cm} \times 50 \text{ cm} = 3500 \text{ cm}^2 = 0.35 \text{ m}^2$$

En cuanto al gasto de los goteros se proponen goteros con gasto menor o igual a 2 litros/hora.

finalmente se obtiene el tiempo de riego que es igual.

$$T = \text{tiempo de riego} = \frac{\text{Volumen (litros)}}{q \text{ (litros/hora)}}$$

TABLA III- 12 OBTENCION DEL TIEMPO DE RIEGO CADA TERCER DIA.

MFS	U.C.A (cm)	U.C.T (cm)	Vol lit.	T I E M P O D E R I E G O								
				q=0.273 L/h	q=0.333 L/h	q=0.666 L/h	q=0.757 L/h	q=1.000 L/h	q=1.333 L/h	q=1.514 L/h	q=1.666 L/h	q=2.000 L/h
E	7.225	0.7225	2.529	9.264	7.595	3.797	3.341	2.529	1.897	1.670	1.518	1.265
F	4.806	0.4806	1.682	6.161	5.051	2.526	2.222	1.682	1.262	1.111	1.010	0.841
M												
A												
M												
J												
J												
A												
S	6.350	0.6350	2.223	8.143	6.676	3.338	2.937	2.223	1.668	1.468	1.334	1.112
O	8.556	0.8556	2.995	10.971	8.994	4.797	3.956	2.995	2.247	1.978	1.798	1.498
N	8.403	0.8403	2.941	10.773	8.832	4.416	3.885	2.941	2.206	1.943	1.765	1.471
D	8.140	0.8140	2.849	10.436	8.556	4.278	3.764	2.849	2.137	1.882	1.710	1.425

Sigue la misma secuencia que la tabla anterior, cambiando unicamente el Uso Consuntivo diario, que en este caso será cada tercer día es decir.

$$\text{Uso Consuntivo cada tercer día} = \frac{\text{U.C.A}}{10 \text{ días/mes}}$$

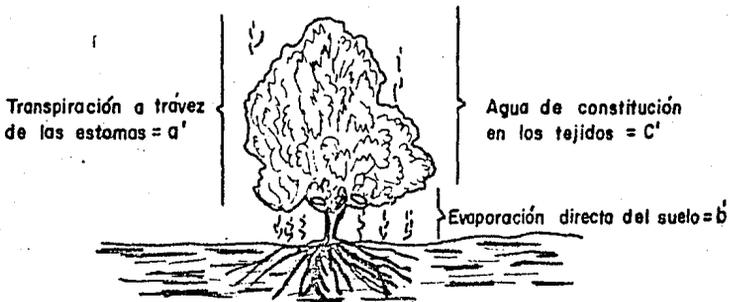
$$A = 0.35 \text{ m}^2$$



Cualquier método convencional de riego

$$a+b+c = \text{Uso Consuntivo}$$

FIG. III-9



Riego por goteo

$$a'+b'+c' = \text{Uso Consuntivo}$$

De acuerdo con lo expresado

$$b > b'$$

$$c = c'$$

$$\text{Pero como } a+b+c = a'+b'+c'$$

$$\therefore a' > a$$

FIG. III - 10

### Selección del gotero.

De los goteros analizados en las tablas anteriores (capítulo IV pag.205), el de 2 litros/hora es prácticamente el único gotero comercial disponible en México; además es deseable su selección dado que es el que requiere menor tiempo de riego reduciendo -- así el costo de operación. Por otra parte resulta más práctico tener trabajando el equipo una hora y media cada tercer día, -- que media hora diaria.

En conclusión se utilizarán goteros de 2 l/hr. trabajando cada tercer día.

#### 3.2.4 Diseño hidráulico de la línea regante.

##### A) Obtención del número de goteros.

Longitud promedio de la línea regante = 41 m (ver plano 3)

Separación entre goteros = 0.50 m

El número de goteros por línea =  $\frac{41 \text{ m}}{0.50 \text{ m}}$

$n = 82$  goteros/línea.

Se utilizará tubería de polietileno de alta densidad, colocada en la superficie

Se analizaron varios diámetros (fabricados de acuerdo a la norma oficial NOM-E-18-1969) y a continuación se describe este -- cálculo para 3 de los mas apropiados.

Proposición	Diámetro interior		Area de la sección (cm <sup>2</sup> )
	(cm)	fulg	
A	0.635	1/4"	0.3165
B	1.2	1/2"	1.1304
C	1.6	3/4"	2.0096

B) Obtención de la velocidad del agua en el primer tramo de la tubería

utilizando goteros de gasto constante igual 2 litros/hora=  
 $0.555 \frac{\text{cm}^3}{\text{seg}} = 5.57 \times 10^{-7} \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$

$q_g$  = gasto del gotero

n = número de goteros.

Proposición	(n)	$q_g$ cm <sup>3</sup> /seg	$nq_g$	$V = nq_g/A$ (cm/seg)
A	82	0.555	45.510	143.791
B	82	0.555	45.510	40.260
C	82	0.555	45.510	22.646

gasto de la línea regante =  $q_{Lr} = 82 \times 0.555 = 45.510 \text{ cm}^3/\text{seg}$

C) Cálculo del número de Reynolds a la temperatura de 24.4°C  
 se tiene que la viscosidad cinemática del agua es:  $\nu = 9.0 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{seg}$ .

Proposición	V (cm/seg)	D (cm)	$V D$ (cm <sup>2</sup> /seg)	$Re = \frac{V D}{\nu}$
A	143.791	0.635	91.307	10,145.25
B	40.260	1.2	48.312	5,368.00
C	22.646	1.6	36.234	4,026.00

D) Determinación de Rugosidad Relativa.

Proposición	e (cm)	D (cm)	R.R = $\frac{e}{D}$
A	0.00015	0.635	0.00023
B	0.00015	1.2	0.00012
C	0.00015	1.6	0.00009

e = rugosidad absoluta

D = diámetro interior

Observación:

Los valores fueron obtenidos (de la tabla III-7) para rugosidad absoluta para tubería plástica o hule (polietileno)

F) Obtención del factor de pérdidas de carga por fricción para las líneas regantes. Con el número de REYNOLDS y la rugosidad relativa se obtiene del diagrama de Moody fig. III-2).

$$f_A = 0.032$$

$$f_B = 0.036$$

$$f_C = 0.039$$

F) Cálculo de las pérdidas de carga en las líneas regantes, - considerando que solo tienen una salida al final de la línea, y una longitud de línea de 41 m.

Proposición	f	L (cm)	V (cm/seg)	$v^2$ (cm/seg) <sup>2</sup>	D (cm)	$2g$ (cm/seg) <sup>2</sup>	$hf_{Lr}$ (cm)
A	0.032	4100	143.791	20,675.852	0.635	1,962	2,177.331
B	0.036	4100	40.260	1,620.868	1.2	1,902	101.614
C	0.039	4100	22.646	512.841	1.6	1,962	26.122

donde:

$h_{f_{Lr}}$  = pérdidas de carga en la línea regante.

$$h_{f_{Lr}} = \frac{fL v^2}{D^2g}$$

G) Obtención de las pérdidas de carga reales en las líneas regantes.

Proposición	$h_{f_{Lr}}$ (cm)	C.S.M	$h_{f_{Lr}}$ real (cm)	$h_{f_{Lr}}$ (m)
A	2,177.331	0.339	738.115	7.38115
B	101.614	0.339	34.447	0.34447
C	26.122	0.339	8.855	0.08855

C.S.M = coef. de salidas múltiples se obtiene de la tabla ---  
III-8

Como son 82 goteros, entonces C.S.M = 0.339

- Selección del diámetro.

La tubería de  $\frac{1}{2}$ " tiene unas pérdidas de carga no muy grande en comparación con la tubería de  $\frac{3}{4}$ " y considerablemente menos que las correspondientes a la tubería de  $\frac{1}{4}$ ", siguiendo este criterio es recomendable la selección de la tubería de  $\frac{1}{2}$ ", si además consideramos que su costo es menor que el de la tubería de  $\frac{3}{4}$ ". Por otro lado el tipo de gotero selecciona do se fabrica para conectarse en tubería de  $\frac{1}{4}$ " y  $\frac{1}{2}$ ".

### 3.2.5 Diseño Hidráulico de la Línea de Conducción.

A) Longitud del terreno = 340 m (plano 3)

n = número de salidas ó líneas regantes

separación entre líneas regantes = 2.20 m (ver fig. III-3)

$$n = \frac{340 \text{ m}}{2.20} = 154.55$$

∴ se tendran 155 líneas regantes y la longitud de la línea de conducción será:

$$L = 154 \times 2.2 + 0.6 + 4 = 343.4 \text{ m (ver plano 3)}$$

temperatura máxima promedio mensual = 24.4°C

corresponde a  $V = 9 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{seg.}$

$$q_{LR} = \text{gasto por línea regante} = \frac{2 \text{ litros}}{\text{hora}} \times 82 \text{ goteros} = 164$$

$$q_{LR} = 164 \frac{\text{litros}}{\text{hora}} = 45.510 \text{ cm}^3/\text{seg.}$$

utilizando tubería de polietileno de alta densidad colocada en la superficie

Proponiendo Diámetros.

Proposición	Diámetro interior		RD norma inglesa	Presión de trabajo, (Kg/cm <sup>2</sup> )	Area de la sección (cm)
	(cm)	(pulg.)			
A	3.810	1½"	15	5.6	11.3951
B	5.080	2"	15	5.6	20.2580
C	7.620	3"		5.0	45.5805

NOTA: La tubería de 3" no se especifica por norma solo se da su presión de trabajo, y su fabricación es sobre pedido. En cuanto -----

a la tubería de 1½" y 2" , solo se tiene RD-15 para una presión de trabajo de 5.6 Kg/cm<sup>2</sup> (ver cap. IV pag.195. )

B) Obtención de la velocidad del agua en el primer tramo de la tubería de conducción.

Proposición	n	q <sub>Lr</sub> cm /seg.	q <sub>Lc</sub> = n q <sub>Lr</sub>	Vc= nq <sub>Lr</sub> /A (cm/seg)
A	155	45.510	7054.050	619.042
B	155	45.510	7054.050	348.211
C	155	45.510	7054.050	154.760

donde: q<sub>Lr</sub> = gasto por línea regante

n = número de líneas regantes

q<sub>Lc</sub> = gasto por línea de conducción = q<sub>Lr</sub> x n

$$q_{Lc} = 45.510 \times 155 = 7,054.050 \text{ cm}^3/\text{seg.}$$

$$q_{Lc} = 0.007 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

C) Cálculo del número de REYNOLDS.

$$T = 24.4^\circ\text{C}$$

$$\nu = 9 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{seg.}$$

Proposición	v (cm/seg)	D (cm)	vD (cm <sup>2</sup> /seg)	Re = $\frac{vD}{\nu}$
A	619.042	3.810	2358.550	262,061.113
B	348.211	5.080	1768.912	196,545.764
C	154.760	7.620	1179.271	131,030.133

D) Determinación de Rugosidad Relativa.

Proposición	e (cm)	D (cm)	R.R = $\frac{e}{D}$
A	0.00015	3.810	0.00004
B	0.00015	5.080	0.00003
C	0.00015	7.620	0.00002

donde: e = rugosidad absoluta

D = diámetro interior

E) Obtención del factor de pérdida de carga por fricción para la línea de conducción; con el número de REYNOLDS y la rugosidad relativa se obtiene del diagrama de Moody (fig. III-2)

$$f_A = 0.015$$

$$f_B = 0.016$$

$$f_C = 0.017$$

F) Cálculo de las pérdidas de carga en la línea de conducción con una longitud de 343.40m., considerando que solo tiene una salida al final de la línea.

Proposición	f	L (cm)	v (cm/seg)	v <sup>2</sup> (cm/seg)	d (cm)	2g (cm/seg)	hf <sub>LC</sub> (cm)
A	0.015	34,340	619.042	383,212.998	3.810	1962	26,406.315
B	0.016	34,340	348.211	121,250.901	5.080	1962	6,684.094
C	0.017	34,340	154.760	23,950.658	7.620	1962	935.218

donde: hf<sub>LC</sub> = pérdidas de carga en la línea de conducción.

$$hf_{LC} = f \frac{LV^2}{D^5}$$

G) Obtención de las pérdidas de carga reales en la línea de distribución considerando 155 salidas

Proposición	hf <sub>LC</sub> (cm)	C.S.M	hf <sub>LC</sub> real (cm)	hf <sub>LC</sub> real (m)
A 1 1/2"	26,406.315	0.337	8,898.93	88.99
B 2"	6,684.094	0.337	2,252.54	22.53
C 3"	935.218	0.337	315.17	3.15

C.S.M = coef. de salidas múltiples (obtenido de la tabla III-8), para 155 salidas.

- Selección del diámetro.

El diámetro de 2" arrojan unas pérdidas grandes en comparación con la tubería de 3", por tal razón a pesar de ser un poco más cara esta última, es la que nos conviene.

- Resumen del diseño Hidráulico del Proyecto.

- 1.- Carga necesaria para el funcionamiento de los goteros.  
(Especificación del fabricante)

$$h_g = 10 \text{ m.}$$

- 2.- Pérdida de carga en la línea regante. Del cálculo hidráulico para  $D = 0.012 \text{ m}$  ( $\frac{1}{2}$ " )

$$hf_{Lr} = 0.34 \text{ m}$$

- 3.- Pérdida de carga en la línea de conducción del cálculo hidráulico para  $D = 3$ "

$$hf_{Lc} = 3.15 \text{ m.}$$

- 4.- Pérdida de carga en la tubería de abastecimiento.

Como el tanque de almacenamiento que abastece a la zona de riego esta a un lado de donde comienza la línea de conducción, no existen pérdidas por tubería de abastecimiento.

$$hf_a = 0.00 \text{ m.}$$

### 3.2.6. Cálculo de Pérdidas de carga Locales. ( $h_L$ )

A) En la línea de Conducción ( $h_{Lc}$ )

- 1.- Para tes.

$$K = 1.50$$

Se utilizará la velocidad promedio de la parte de la línea de conducción en la que se tienen tres conectadas, esto es entre la entrada del sistema y el penúltimo tramo de la línea de conducción.

A la entrada del sistema se tiene:

$$V_i = 154.760 \text{ cm/seg}$$

$$Q_i = 7054.050 \text{ cm}^3/\text{seg.}$$

donde:

$V_i$  = velocidad inicial

$Q_i$  = gasto inicial

Usando continuidad y como el área es constante se tiene que la velocidad final es:

$$V_f = V_i \frac{Q_f}{Q_i}$$

donde:

$V_f$  = velocidad final.

$Q_f$  = gasto final

por otra parte

$$Q_f = Q_i - 153 q_{Lr}$$

donde:

$q_{Lr}$  = gasto en la línea regante

$$q_{Lr} = 45.510 \text{ cm}^3/\text{seg.}$$

sutituyendo:

$$Q_f = 7054.05 - 153 \cdot x \cdot 45.510$$

$$Q_f = 91.02 \text{ cm}^3/\text{seg.}$$

finalmente

$$V_f = \frac{154.76 \times 91.02}{7054.050}$$

$$V_f = 1.997 \text{ cm/seg.}$$

la velocidad promedio será:

$$V_p = \frac{V_f + V_i}{2} = \frac{1.997 + 154.76}{2}$$

$$V_p = 78.38 \text{ cm/seg.}$$

$$h_{L_{Lc}} = 1.5 \frac{(78.38)^2}{2 \times 981} = 4.70 \text{ cm}$$

como se tienen 154 tes en la línea y un codo al final.

$$h_{L_{Lc}} = 154 \times 4.70$$

$$h_{L_{Lc}} = 723.8 \text{ cm} = 7.24 \text{ m}$$

2.- Para codo de 90°

$$K = 0.50$$

$$Q = 7054.05 - 154(45.51) = 45.51 \text{ cm}^2/\text{seg.}$$

$$V = \frac{154.76 \times 45.51}{7054.050} = 0.998 \text{ cm/seg.}$$

$$h_{L_{Lc}} = 0.5 \frac{(0.998)^2}{1962}$$

$$h_{L_{Lc}} = 0.0003 \text{ cm} = 0.000003 \text{ m}$$

B) En la línea regante ( $h_{L_r}$ )

1.- Por goteros

$$K = 1.0 \text{ (Especificado por el fabricante)}$$

Se utilizará la velocidad promedio de la línea regante.

A la entrada de la línea regante se tiene:

$$V_i = 40.260 \text{ cm/seg}$$

$$q_i = 45.510 \text{ cm}^3/\text{seg.}$$

donde:

$$V_i = \text{velocidad inicial}$$

$$q_i = \text{gasto inicial}$$

además

$$V_f = V_i \frac{q_f}{q_i}$$

donde:

$$V_f = \text{velocidad final}$$

$$q_f = \text{gasto final.}$$

por otra parte se sabe que:

$$q_f = q_g = 0.555 \text{ cm}^3/\text{seg.}$$

donde:

$$q_g = \text{gasto del gotero}$$

finalmente:

$$V_f = 40.260 \frac{0.555}{45.510}$$

$$V_f = 0.49 \text{ cm/seg.}$$

la velocidad promedio será;

$$V_p = \frac{V_f + V_i}{2} = \frac{0.49 + 40.260}{2}$$

$$V_p = 20.38 \text{ cm/seg.}$$

$$h_{L_{Lr}} = 1.0 \frac{(20.38)^2}{1962} = 0.21 \text{ cm}$$

Como se tienen 82 goteros en la línea regante

$$h_{L_{Lr}} = 82 \times 0.21$$

$$h_{L_{Lr}} = 17.22 \text{ cm} = 0.17 \text{ m}$$

C) Por filtro.- Especificaciones del fabricante.

$$h_{Lf} = 400 \text{ cm} = 4 \text{ m}$$

Total de pérdidas localizadas ( $h_L$ )

CONCEPTO	ACCESORIOS	PERDIDAS DE CARGA EN (m)
Línea de conducción	tes codo	7.24 0.000003
línea regante	goteros	0.17
especificación	filtro	4.00
Total		11.41 m

$$h_L = 11.41 \text{ m}$$

6.- Carga total necesaria para el funcionamiento del sistema.

$$H_t = h_g + h_{f_{LR}} + h_{f_{LC}} + h_{fa} + h_L$$

$$H_t = 10 \text{ m} + 0.34 \text{ m} + 3.15 + 0.00 + 11.41$$

$$H_t = 24.90 \text{ m.}$$

### III-3.3 EQUIPO DE BOMBEO.

#### 3.3.1 Generalidades del Cálculo.

Las bombas convenientes para el abastecimiento de agua de riego son las bombas centrífugas horizontales o verticales y las bombas de turbina de pozo profundo, las bombas de flujo axial y de flujo mixto, y ocasionalmente el ariete hidráulico y las bombas de chorro.

#### A) Bombas.

Las instalaciones de bombeo son fijas ó móviles, la elección de las bombas depende de la forma como se capta el agua, el caudal y la presión de servicio necesaria.

Las bombas deben elegirse con gran cuidado, de forma que tenga un rendimiento lo más elevado posible. La potencia absorbida depende del caudal, de la presión y de su rendimiento.

#### B) Caudales.

Los caudales que deben proporcionar las bombas dependen de las necesidades máximas en el período de máxima demanda, ligeramente corregidas de manera que tengan un cierto margen de seguridad.

### C) Presión

La presión se determina sumando las pérdidas de carga en las tuberías, a la presión en la boquilla de los aspersores y góteros, dependiendo el método a utilizar.

### D) Elección del Tipo de Bomba.

Para la elección de cualquier tipo de bomba se debe.

Tener en cuenta.

- 1.- El descenso del plano del agua en la zona de bombeo, es el que determina la bomba (superficial ó sumergida).
- 2.- El origen de la fuerza motriz; motores eléctricos o de combustión interna.
- 3.- La relación caudal-presión. En el riego las alturas manométricas varían en general de 40 a 70 mts.
- 4.- Las curvas características; bien entendido que debe procurar que la bomba esté situada en las curvas ascendentes o por lo menos, en el máximo de ellas.

### E) Tipos de Bombas utilizadas para el riego.

Existen varios tipos de bombas cuyo funcionamiento es satisfactorio pero que difieren por su modo de accionamiento y su posición en la instalación con relación al nivel del agua a bombear.

Las principales bombas utilizadas son:

1.- Las bombas centrífugas son:

- a) de superficie
- b) de cuerpo sumergido y motor colocado en superficie (bombas de eje vertical)
- c) de cuerpo y motor sumergido (bombas eléctricas)

Estas son las principales bombas utilizadas para el riego; son simples y resistentes, reducidas de tamaño, de un precio relativamente bajo y que no exigen muchos gastos de conservación.

2.- Las Bombas de Hélices.

Estas bombas están constituidas para elevar grandes caudales a pequeñas alturas; son simples y no necesitan ningún cebado ya que la hélice está siempre sumergida. El motor de accionamiento está colocado como en el caso de una bomba de eje vertical bien en el extremo del eje o bien acoplado a ella por un cordón o una correa.

3.- Las bombas de Pistón.

Estas bombas tienen un excelente rendimiento mecánico con frecuencia superior del 80%; no son, sin embargo, casi empleadas para el riego por que son voluminosas y delicadas, necesitan una vigilancia constante; su empleo está limitado al bombeo de pequeños caudales a alturas manométricas importantes. Pueden ser horizontales de superficie o tener su cuerpo sumergido vertical y su motor en superficie, el accionamiento del o de los pistones se hace mediante un varillaje.

F) Conceptos que se deben tomar en consideración en la selección del equipo, para un sistema de bombeo.

- 1.- Naturaleza del líquido por bombearse
- 2.- Gasto de bombeo
- 3.- Condiciones en la rama de succión
  - altura estática de succión
  - carga estática de succión
  - longitud y diámetro de tubería de succión
  - accesorios y válvulas
  - disposición de la instalación y presión en la alimentación si la hay
- 5.- Condiciones en la rama de descarga
  - altura estática de descarga
  - estimación de carga por pérdidas menores y de fricción
  - longitud y diámetro de la tubería de descarga
  - accesorios y válvulas
  - disposición de la instalación y presión en la descarga si la hay.
- 6.- Tipo de servicio continuo o intermitente
- 7.- Disposición de la instalación del equipo de bombeo: Bombas verticales y horizontales.
- 8.- Localización de la instalación para efecto de mantenimiento y reparación.
- 9.- Tipo y características de la fuerza motriz.

### 3.3.2 Cálculo del equipo de bombeo para el riego por aspersión.

Se utilizará tubería de acero con una resistencia de  $85 \text{ kg/cm}^2$  y las conexiones serán de fierro fundido.

A) Proposición del equipo de bombeo (plano 4) se propone una bomba, localizada a un lado de la zona de riego, los datos para la elección de la bomba son los siguientes:

- 1.- Elevación de la succión = 0.23 m
- 2.- Elevación de la descarga = 1.40 m.
- 3.- Carga estática del problema = 0.23-1.40=1.17m
- 4.- Long. de la tubería de succión = 0.55 m
- 5.- Long. de la tubería de descarga = 0.56 + 3.93 = 4.49 m

Gasto y carga obtenidas en el riego por aspersión:

$$Q = 0.008 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$H_t = 20.62 \text{ m.}$$

Cálculo de Pérdidas de Carga en la Tubería.

B) Pérdidas de carga en la Succión.

Datos.

Longitud de tubería = 0.55 m (ver pag.180incisos 9.1 y 9.2)

Diámetro de 3" = 0.0762 m

Gasto necesario = 0.008 m<sup>3</sup>/seg.

Coefficiente de rugosidad (n)

Para acero galvanizado = 0.014

Usando el nomograma (pag.177), del cual se pueden obtener las longitudes equivalentes de las conexiones que se usan en el - cálculo de las pérdidas en el sistema de bombeo.

- Conexiones que se utilizarán en la succión.

Conexiones	Longitud equivalente (m)	observaciones.
Válvula de mariposa(3")	0.53 m	obtenido del nomograma (pag.181 ver tambien la pag.177 inciso 15.1)

por entrada ordinaria (3") a la bomba	1.30 m	obtenido del nomograma (ver tambien pag. 17° inciso 6 )
total	1.83 m	

L = longitud total = 0.55 m + 1.83 m = 2.38 m

Para el cálculo de las pérdidas se utilizará Manning.

$$h_f = \frac{10.29 \times Q^2 \times n^2 \times L}{D^{16/3}}$$

sustituyendo

$$h_f = \frac{(10.29) (0.008)^2 (0.014)^2 (2.38)}{(0.0762)^{16/3}} = 0.28 \text{ m}$$

Por lo tanto las pérdidas de carga en la succión serán:

$$h_f = 0.28 \text{ m}$$

C) Pérdidas de carga en la descarga

1.- Para  $\phi = 2''$

Longitud de la tubería = 0.56 m (ver pag. 180 inciso 10.2)

diámetro de 2" = 0.0508 m

gasto necesario = 0.008 m<sup>3</sup>/seg.

coef. de rugosidad

para acero galvanizado (n) = 0.014

Usando Manning.

$$h_f = \frac{10.29 \times Q^2 \times n^2 \times L}{D^{16/3}} = \frac{10.29 (0.008)^2 (0.014)^2 (0.56)}{(0.0508)^{16/3}}$$

$$h_f = 0.58 \text{ m}$$

2.- Para  $\phi = 3''$

Longitud de tubería = 3.93 m (ver pag. 178 y 179, incisos 1.1, 1.2, 5.1, 5.2, 5.3, 5.4)

diámetro de 3" = 0.0762 m

gasto necesario = 0.008 m<sup>3</sup>/seg.

coef. de rugosidad

para acero galvanizado = 0.014

Conexiones que se utilizarán en la descarga.

Conexiones	Longitud equivalente (m)	observaciones.
4 codos de 90° de (3")	5.50m x 4 = 22.00 m	obtenido del nomograma (ver también pag.179 inciso 3.1)
válvulas de compuerta abierta (3")	0.55m	obtenida del nomograma (ver también pag.180 inciso 14.1)
ampliación del tubo de (2" x 3")	2.20m	(ver pag.179 inciso 8.1)
válvula check de (3")	5.70m	obtenido del nomograma (ver también pag.180 inciso 12.1)
válvula aliviadora de presión. (3")	2.30m	obtenido del nomograma (ver también pag.180 inciso 13.1)
té standard de (3"x2")	7.00m	Ver pag.179 inciso 7.1
	39.75m	

$$\text{Longitud total} = 3.93 + 39.75\text{m} = 43.68\text{m}$$

$$h_f = \frac{10.29 \times 0^2 \times n^2 \times L}{D^{16/3}} = \frac{10.29(0.008)^2 (0.014)^2 (43.68\text{m})}{(0.0720)^{16/3}} = 7.00 \text{ m}$$

las pérdidas totales para  $\phi = 2''$  y  $\phi = 3''$

$$h_f = 0.58\text{m} + 7.00\text{m} = 7.58\text{m}$$

Por lo tanto las pérdidas de carga en la descarga serán.

$$h_f = 7.58 \text{ m}$$

Total de pérdidas

Pérdidas de carga estática	=	1.17m
pérdidas de carga de succión	=	0.28m
pérdidas de carga en la descarga	=	7.58m
pérdidas en el sistema	=	20.62m
carga total	( $h_L$ )	<u>29.65m</u>

D) Revisión por golpe de ariete ( $h_i$ )

$$h_i = \frac{145 \times V}{\sqrt{1 + \frac{E_a + D}{E_t + e}}} \text{ --- 3.58}$$

donde:

$h_i$  = sobre-presión por golpe de ariete

$E_a$  = módulo de elasticidad del agua = 20,700 kg/cm<sup>2</sup>

$E_t$  = módulo de elasticidad del acero = 2100,000 kg/cm<sup>2</sup>

$E_a$  y  $E_t$  fueron obtenidos de la referencia 8

$D = \text{diámetro de } 3'' = 0.0762\text{m}$

este diámetro es el que se utiliza en la descarga

$e = 6.02 \text{ mm} = \text{espesor del tubo}$

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

donde:  $Q = 0.008 \text{ m}^3/\text{seg.}$

$$V = \frac{0.008 \text{ m}^3/\text{seg.}}{\frac{(0.0762)^2 \pi}{4}} = 1.75 \text{ m/seg.}$$

sustituyendo en la ecuación 3.58

$$h_i = \frac{145 \times 1.75}{\sqrt{\frac{1+20700 \times 0.0762}{210000 \times 0.00602}}} = 239.26$$

$$h_i = 239.26$$

como

$$\begin{aligned} i_{\text{H}_2\text{O}} &= 0.1 \text{ kg/cm}^2 \\ P_i &= 239.26 \text{ m} \times 0.1 \text{ kg/cm}^2 \\ P_i &= 23.93 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

de acuerdo a los cálculos anteriores, se tiene que:

Pérdidas de carga total.

$$h_t = 29.65$$

$$\text{presión normal } (P_n) = 29.65 \times 0.1 \text{ kg/cm}^2 = 2.965 \text{ kg/cm}^2$$

La presión total se obtiene sumando la sobrepresión por golpe de ariete y la presión normal.

$$P_t = 23.93 \text{ Kg/cm}^2 + 2.965 \text{ Kg/cm}^2$$

$$P_t = 26.90 \text{ Kg/cm}^2$$

Como la tubería propuesta es de acero y con resistencia de 85  $\text{Kg/cm}^2$ , está dentro de la seguridad, pero como ésta sobrepresión se propagará hasta la tubería de P.V.C., y ésta solo acepta una presión de 9  $\text{Kg/cm}^2$ , por lo tanto si tendremos que utilizar válvulas aliviadores de presión (estas válvulas ya habrían sido consideradas en el cálculo de pérdidas por equipo de bombeo)

#### E) Espesor mínimo

$$e = \frac{P d}{2 f_s} + C \text{ --- 3.59}$$

donde:

P = Presión total ( $P_t$ )	= 26.90 $\text{Kg/cm}^2$
d = diámetro	= 7.62 cm
$f_s$ = esfuerzo permisible	= 1140 $\text{Kg/cm}^2$
C = constante	= 0.15 (por corrosión)

Sustituyendo en la ecuación 3.59

$$e = \frac{26.90 \text{ Kg/cm}^2 \times 7.62 \text{ cm}}{2(1140 \text{ kg/cm}^2)} + 0.15$$

$$e = 0.24 \text{ cm}$$

Como la tubería propuesta tiene un espesor de 0.602 cm se esta dentro de la seguridad,

F) Elección del tipo de bomba.

$$H_t = 29.65m$$

$$Q = 8 \text{ l.p.s.}$$

se utilizará una bomba centrífuga horizontal, succión lateral.

Con una eficiencia de 60 % obtenida de las curvas características (basándose en el gasto y la carga total)

Potencia del motor

$$P = \frac{Q H}{76 \eta} \text{ --- --- --- --- --- } 3.60$$

donde:

P = potencia en H.P.

Q = gasto en L.p.s = 8 L.p.s

H = carga en m = 29.65 m

$\eta$  = eficiencia = 0.60

sustituyendo

$$P = \frac{(8 \text{ L.p.s.})(29.65m)}{76 (0.60)} = 5.2 \text{ H.P.}$$

es decir se utilizará una bomba de 5 H.P.

### 3.3.3 Cálculo del equipo de Bombeo para el riego por goteo.

A) Para este método se utilizan los mismos datos que se usaron para el método del riego por aspersión con la diferencia de que el gasto y las pérdidas de carga son distintas.

$$Q = 0.007 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$H_t = 24.90 \text{ m}$$

B) En la tubería de Succión.

Datos

$$\text{Longitud} = 2.38 \text{ m}$$

$$\text{diámetro interior} = 0.0762 \text{ m (3")}$$

$$\text{gasto necesario} = 0.007 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

usando Darcy-Weisbach (ecuación 3.43)

$$h_f = f \frac{L V^2}{D 2g}$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.007 \text{ m}^3/\text{seg.}}{\pi (0.0762)^2} = 1.54 \text{ m/seg.} = 154 \frac{\text{cm}}{\text{seg.}}$$

4

Cálculo del No. de Reynolds (ecuación 3.41)

$$R_e = \frac{V D}{\nu}$$

a una temperatura de 24.4° se tiene  $\nu = 9 \times 10^{-3} \frac{\text{cm}^2}{\text{seg.}}$

$$R_e = \frac{154 \frac{\text{cm}}{\text{seg.}} (7.62 \text{ cm})}{9 \times 10^{-3} \frac{\text{cm}^2}{\text{seg.}}} = 130386.67 = 1.3 \times 10^5$$

R.R = rugosidad relativa =  $\frac{e}{D}$  (ecuación 3.42)

Como se usa tubería de acero  $e = 0.002$  cm (tabla III-7)

$$\text{R.R.} = \frac{0.002 \text{ cm}}{7.62 \text{ cm}} = 0.00026$$

Con el No. de REYNOLDS y la rugosidad relativa se entra al diagrama de Moody, para obtener "f" (fig. III-2)

$$f = 0.019$$

$$hf = \frac{0.019 (2.38\text{m}) (1.54 \text{ m/seg})^2}{2 (9.81 \text{ m/seg}^2) (0.0762\text{m})} = 0.07 \text{ m}$$

pérdida de carga en la succión es 0.07m

C) En la tubería de descarga.

1.- Para  $\phi = 2''$

$$\begin{aligned} \text{Longitud} &= 0.56\text{m} \\ \text{diámetro interior} &= 0.0508\text{m} (2'') \\ \text{gasto necesario} &= 0.007 \text{ m}^3/\text{seg.} \end{aligned}$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.007}{\frac{\pi (0.0508)^2}{4}} = 3.45 \text{ m/seg.} = 345 \text{ cm/seg.}$$

$$\text{Re} = \frac{D V}{\nu} = \frac{5.08\text{m} (345\text{cm/seg.})}{9 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{seg.}} = 194733.333 = 1.9 \times 10^5$$

$$\text{R.R.} = \frac{e}{D} = \frac{0.002 \text{ cm}}{5.08 \text{ cm}} = 0.0004$$

$$f = 0.016$$

$$hf_1 = \frac{0.016 (0.56m) (3.45m/seg)^2}{(0.0508) 2(9.81 m/seg^2)} = 0.11m$$

$$hf_1 = 0.11m$$

2.- Para  $\phi = 3''$

Datos.

Longitud = 43.68m

diámetro de 3" = 0.0762m

gasto necesario = 0.007 m<sup>3</sup>/seg.

para acero e = 0.002

$$v = 9 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{seg.}$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.007 \text{ m}^3/\text{seg}}{\frac{\pi (0.0762)^2}{4}} = 1.54 \text{ m/seg.} = 154 \text{ cm/seg}$$

$$Re = \frac{V D}{v} = \frac{154 \text{ cm/seg} (7.62 \text{ cm})}{9 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{seg.}} = 130,386.67 = 1.3 \times 10^5$$

$$R.R. = \frac{e}{D} = \frac{0.002 \text{ cm}}{7.62 \text{ cm}} = 0.0003$$

$$F = 0.018$$

$$hf_2 = \frac{f L V^2}{D 2g} = \frac{0.018 (43.68m) (0.86m/seg)^2}{0.0762(2) (9.81 m/seg^2)} = 0.39m$$

$$hf = hf_1 + hf_2 = 0.11m + 0.39m = 0.50m$$

∴ pérdida de carga en la descarga = 0.50m.

Total de pérdidas de carga.

carga estática = 1.17 m  
 carga de succión = 0.07 m  
 carga en la descarga = 0.50 m  
 carga en el sistema = 24.90 m  
 carga total = 26.64 m

D) Revisión por golpe de ariete.

Datos.

$h_i$  = sobre presión por golpe de ariete

$E_a$  = módulo de elasticidad del agua = 20,700 Kg/cm<sup>2</sup>

$E_t$  = módulo de elasticidad del acero = 2100000 Kg/cm<sup>2</sup>

$V$  = velocidad en la tubería de acero

$D$  = diámetro de la tubería de acero 3" = 0.0762 m

$e$  = espesor de la tubería de acero (catálogo) = 6.02 mm

$Q$  = gasto necesario = 0.007 m<sup>3</sup>/seg,

$$h_i = \frac{145 \times V}{\sqrt{1 + \frac{E_a \times D}{E_t \times e}}}$$

$$D = 0.0762 \text{ m}$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.007}{\frac{\pi (0.0762 \text{ m})^2}{4}} = 1.54 \text{ m/seg.}$$

$$e = 6.02 \text{ mm} = 0.00602 \text{ m}$$

$$h_i = \frac{145 \times V}{\sqrt{1 + \frac{E_a \times D}{E_t \times e}}} = \frac{145 \times 1.54 \text{ m/seg}}{\sqrt{1 + \frac{20700 \text{ Kg/cm}^2 \times 0.0762 \text{ m}}{2100000 \text{ Kg/cm}^2 \times 0.00602 \text{ m}}}}$$

$$h_i = 210.55 \text{ m}$$

Como

$$1 \text{ m}_{\text{H}_2\text{O}} = 0.1 \text{ Kg/cm}^2$$

la presión por golpe de ariete será:

$$P_i = 210.55 \times 0.1 = 21.06$$

$$P_i = 21.06 \text{ Kg/cm}^2$$

si tenemos

$$h_t = 26.64 \text{ m}$$

Presión normal ( $P_n$ ) =  $26.64 \text{ m} \times 0.1 \text{ Kg/cm}^2$

$$P_n = 2.664 \text{ Kg/cm}^2$$

la presión total se obtiene sumando la sobre presión por golpe de ariete y la presión normal

$$P_t = P_i + P_n = 21.06 \text{ Kg/cm}^2 + 2.66 \text{ Kg/cm}^2$$

$$P_t = 23.72 \text{ Kg/cm}^2$$

Como la tubería propuesta es acero y con una resistencia de  $85 \text{ Kg/cm}^2$ , está dentro de la seguridad, pero como está sobre presión se propaga hasta la tubería de polietileno, y ésta solo acepta una presión de  $5 \text{ Kg/cm}^2$ , por lo tanto sí tendremos que usar válvulas aliviadoras de presión, las cuales ya habían sido consideradas en el cálculo de pérdidas por equipo de bombeo.

E) Espesor mínimo (ecuación 3.59)

$$e = \frac{P \cdot d + c}{2 \cdot f \cdot s}$$

$P = \text{presión considerada} = 23.72 \text{ Kg/cm}^2$   
 $d = \text{diámetro interior} = 7.62 \text{ cm}$   
 $f_s = \text{esfuerzo permisible} = 1140 \text{ Kg/cm}^2$   
 $c = \text{constante} = 0.15 \text{ (por corrosión)}$

$$e = \frac{23.72 (7.62)}{2 (1140)} + 0.15$$

$$e = 0.23 \text{ cm}$$

Como la tubería propuesta tiene un espesor de 0,602 cm se esta dentro de la seguridad.

F) Elección del Tipo de Bomba.

$$Q = 7 \text{ l.p.s.}$$

$$H_t = 26.64 \text{ m}$$

se utilizará una bomba centrífuga horizontal, succión lateral.

Con una eficiencia de 60% obtenida de las curvas características (basándose en el gasto y la carga total)

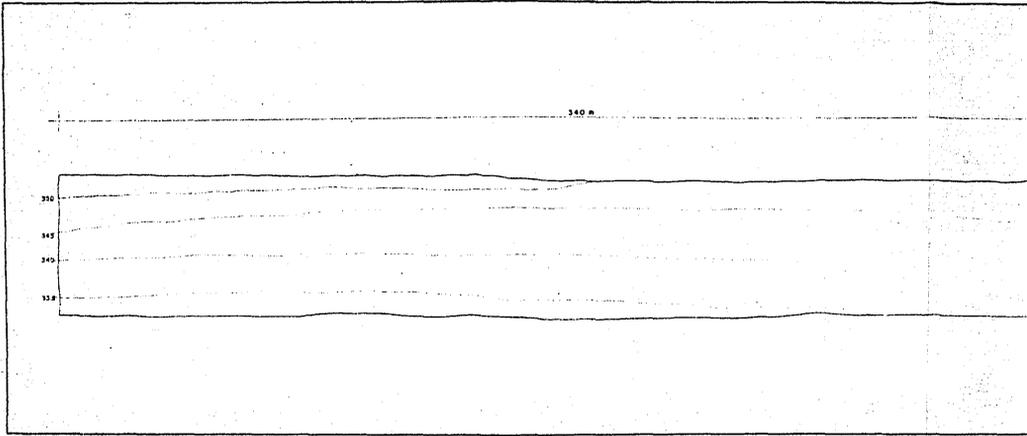
Potencia del motor

$$P = \frac{Q H}{76 \eta}$$

sustituyendo

$$P = \frac{(7 \text{ l.p.s.}) (26.64 \text{ m})}{76 (0.60)} = 4.09 \text{ H.P.}$$

es decir se utilizará una bomba de 4 H.P.



340.0

Área de terreno = 16 Héctaras  
Pendiente del terreno = 0.0045.

curva de nivel.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	
FACULTAD DE INGENIERIA	
UNIDAD DE RIEGO "CELAYA"	
TOPOGRAFIA	
TESIS PROFESIONAL	1 500
SDIC GOMEZ ORZUELA	10.10.65
	10.10.65
	Octubre/65

340 m

Tramo B. Anticampanas

POS. 0

Inicio  
de la línea de conducción

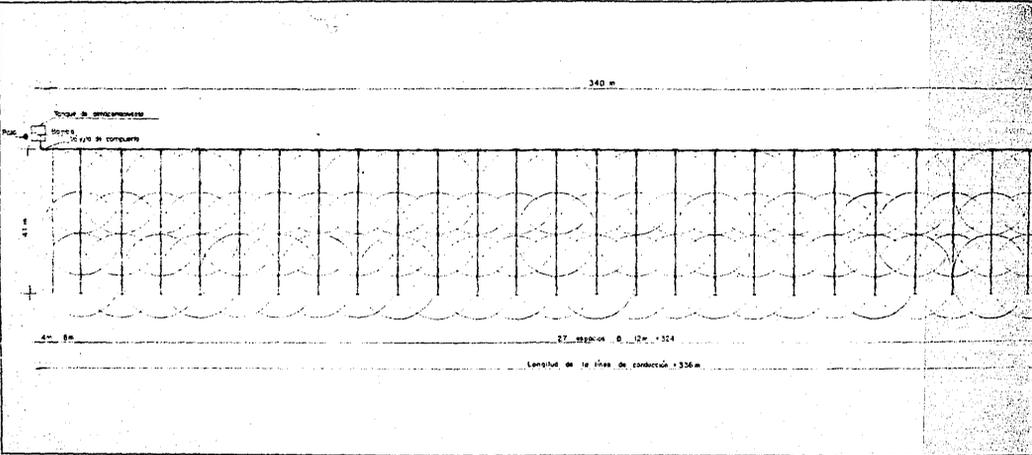
4

+

40 m

27. 000000 0. 020. 000

longitud de la línea de conducción = 356 m



340 m

**SIMBOLOGIA**

CANTOS

**LÍNEA DE SONDEOS**

Tuerca de PVC Ø1" de diámetro	—	
Tubo de PVC Ø1 1/2" de diámetro	—	27
Cable de PVC Ø1" de diámetro	—	28
Cable de PVC Ø1 1/2" de diámetro	—	29
Armadura espiral Ø1 1/2" de diámetro	—	30
<b>LÍNEA REGATORIA</b>		
Tuerca de PVC Ø1" de diámetro	—	
Cable de PVC Ø1 1/2" de diámetro	—	31
Tubo para arcos de sujeción de PVC Ø1 1/2"	—	32
Aspersor	—	33
Tubería	—	34

27 espesor 8 mm - 324

Longitud en la línea de producción = 336 m

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO		
FACULTAD DE INGENIERÍA		
SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN		
RED DE DISTRIBUCIÓN		
TESIS PROFESIONAL	SECCION	PLANO N.º
SOTO GOMEZ GRACIELA	502	2
	AGRICULTORES	24/10/88

DE

154 MÓDULO, Ø 22 m + 338 m

340

Zonas de amarras/empuje.

— Sillas

— Puntos de amarre

— Pinos

1-10

Longitud de la línea de conexión = 343 m

— Sillas



CORTE B — B'

Sillas

154 metros @ 22 m = 338 m

08

340

**SIMBOLOGIA**

CANTIDAD

LÍNEA DE CONDUCCIÓN

Línea de Polietileno (17) de diámetro		
Tubo de PVC (15'x12") de diámetro		158
Cable empobrecido hecho de 30" (3") de diámetro		2
Aplicador manual de riego de (15'x12") de diámetro		1
<u>LÍNEA REGATORIA</u>		
Tubo de Polietileno (12") de diámetro		
Cable (1/2") de diámetro		62
Papel (1/2") de diámetro		15

Longitud de la línea de conducción = 343.4

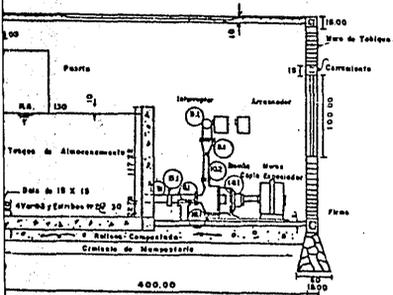
Línea regadora

diámetro

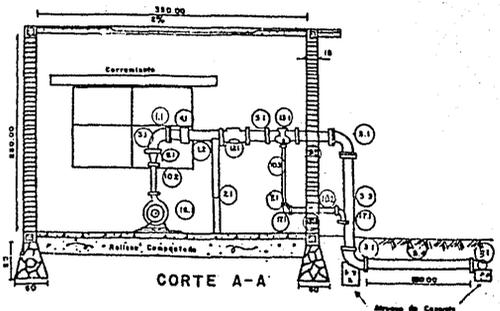
B - B'

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO		
FACULTAD DE INGENIERÍA		
SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO		
RED DE DISTRIBUCIÓN		
TESIS PROFESIONAL	Curso	PLANO No. 3
SOTO GONZALEZ	150 C	
	150 C	Octubre/86





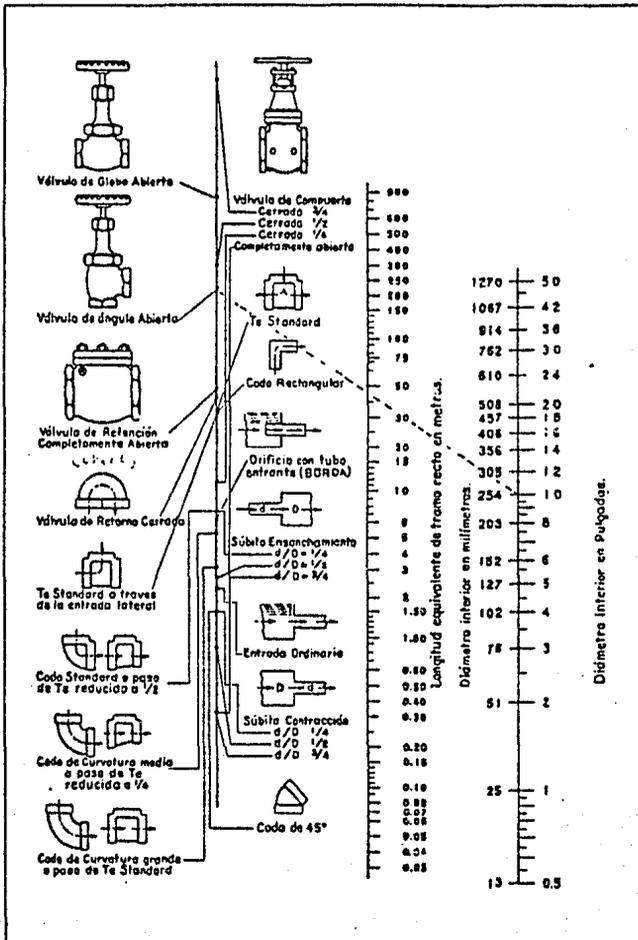
CORTE B-B



CORTE A-A

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO		
FACULTAD DE INGENIERIA		
SISTEMA DE BOMBEO		
TANQUE DE ALMACENAMIENTO		
TESIS	Escala: 1:30	PLANO No 4
SOTO GOMEZ GRACIELA	Acotaciones: en metros	Octubre /86

FIG. III-13 MONOGRAMA PARA OBTENER LONGITUDES EQUIVALENTES (USADAS EN EL CALCULO DE PERDIDAS DE CARGA EN CONEXIONES)



LISTA DE TUBERIAS, VALVULAS, PIEZAS ESPECIALES Y ACCESORIOS -  
UTILIZADOS EN EL SISTEMA DE BOMBEO.

Descripción.	UNIDAD	CANTIDAD
1.- Tubo de acero de 76.20 mm (3") - de diámetro nominal y con pared de 4.32 mm de espesor con una - brida de acero clase 8.8 Kg/cm <sup>2</sup> soldada en un extremo.		
1.1 De 0.18m de longitud	Pza.	1
1.2 De 0.30m de longitud	Pza.	1
2.- Tubo de acero de 76.20 mm (3") - de diámetro nominal y con pared de 4.32 mm de espesor para atra que, soldado en un extremo.		
2.1 De 1.40m de longitud	Pza.	2
3.- Codo de fierro fundido de 76.20 mm (3") de diámetro nominal y - con pared de 12.70 mm (½") bri dad clase 10.5 Kg/cm <sup>2</sup>		
3.1 De 90°	Pza.	4
4.- Junta de fierro fundido tipo -- GIBAUT, para unir tubería de -- acero de 82.55 mm (3¼") de diá metro exterior con:		
4.1 Tubería de acero 82.55 mm (3¼") de diámetro exterior.	Pza.	1
5.- Tubo de acero de 76.20 mm (3") - de diámetro nominal y con pared		

de 4.32 mm de espesor con bridas de acero clase 8.8 Kg/cm <sup>2</sup> soldado en un extremo.		
5.1 De: 0.25 m de longitud	Pza.	1
5.2 De: 0.35 m de longitud	Pza.	1
5.3 De: 1.35 m de longitud	Pza.	1
5.4 De: 1.50 m de longitud	Pza.	1
6.- Tubo de acero de 76.2 mm (3") - para entrada ordinaria a la bomba.	Pza.	1
7.- Te fo. fo. de 12.70 mm (½") de espesor bridado clase 10.5 -- Kg/cm <sup>2</sup>		
7.1 De: 76.20 x 50.8 (3" x 2") de diámetro nominal con una longitud - de 7 m	Pza.	1
8.- Ampliación de fo. fo. con pared de 12.70 mm(½") de espesor brida da clase 10.5 Kg/cm <sup>2</sup>		
8.1 De: 50.8 x 76.20 mm(2" x 3") de - diámetro nominal 2.20 m de longitud.	Pza.	1
9.- Tubo de acero de 76.2 mm(3") de diámetro nominal y con pared de 4.32 mm. con una brida de acero clase 8.8 Kg/cm <sup>2</sup> .		

9.1 De: 0.25 m de longitud	Pza.	1
9.2 De: 0.30 m de longitud	Pza.	1
10.- Tubo de acero de 50.8 mm(2") de diámetro nominal y con - pared de 3.91 mm con dos bri das de acero clase 8.8 Kg/cm <sup>2</sup> soldados en dos extremos.		
10.1 De: 0.40 m de longitud	Pza.	1
10.2 De: 0.56 m de longitud	Pza.	1
10.3 De: 0.80 m de longitud	Pza.	1
11.- Válvula de expulsión de aire		
11.1 De: 12.7 mm (½") de diámetro	Pza.	1
12.1 Válvula de retención clase - 8.8 Kg/cm <sup>2</sup> (125 p.s.i)		
12.1 De: 76.20 mm (3") de diámetro	Pza.	1
13. Válvula reductora de presión		
13.1 De: 50.8 mm(2") de diámetro		
14. Válvula de compuerta, vásta go fijo clase 8.8 Kg/cm <sup>2</sup>		
14.1 De: 76.20 mm(3") de diámetro	Pza.	1
15. Válvula mariposa, oblea con- operador de palanca clase - 10.5 Kg/cm <sup>2</sup> (150 p.s.i )		

15.1 De: (3") de diámetro.	Pza.	1
16. Bomba centrífuga horizontal succión lateral de 3500 --- r.l.m y 60 c.p.s. con motor eléctrico horizontal total- mente cerrado		
16.1 Montado sobre bastidor de- acero	Pza.	1
17.- Codo de fierro fundido de - 50.80 mm (2") de diámetro - nominal y con pared de 11.10 mm (7/16) bridado clase 10.5 Kg/cm <sup>2</sup>		
17.1 De: 90°	Pza.	3

#### IV. SELECCION DE ACCESORIOS PARA RIEGO.

En este capítulo se mencionarán los distintos materiales que se utilizan en los sistemas de riego por aspersión y por goteo, así como las variables que se toman en cuenta para su elección.

##### IV-1 TUBERIAS.

Existen en el mercado un gran número de tipos de tuberías de todas clases y de todos los diámetros, desde las conducciones de fundición para enterrar hasta las tuberías de materia plástica enrollables.

La elección es pues difícil y deberá orientarse en el sentido del costo, pero sobre todo la finalidad a que se destinan. No obstante las tuberías pueden dividirse en tuberías fijas de superficie o para enterrar y en tuberías móviles, necesariamente de superficie.

##### IV.1.1 TUBERIAS FIJAS.

Estas tuberías se utilizan como tuberías principales y son de diámetro bastante grande; sin embargo, la tendencia actual, sobre todo para cultivos permanentes rentables (árboles frutales) o para cultivos de muy elevada rentabilidad (frutos fuera de época y hortalizas) es de instalaciones fijas o semifijas que van desde la estación de bombeo hasta el final y que pueden servir para la distribución.

Las tuberías de materia plástica se utilizan cada vez más enterradas. Las tuberías de un diámetro superior a 100 mm son generalmente de fundición, de acero o de amianto-cemento. Los

empalmes empleados son los utilizados para las acometidas de agua.

En los diámetros inferiores a 100 mm., las materias plásticas y sobre todo los cloruros de polivinílico (P.V.C) constituyen la parte principal de las instalaciones enterradas.

### 1.1.1 Tubería de P.V.C.

Se presenta en tubos rígidos o semi-rígidos de longitud variable, la unión de la tubería se utiliza por medio de:

#### A) Acoplamiento espiga-campana con anillo de hule.

Se ha diseñado para que soporte la misma presión interna que los tubos, sirviendo también como cámara de dilatación. La eficiencia del sellado del anillo de hule aumenta con la presión hidráulica interna (fig. IV-1 y IV-2). Este tipo de unión es el más rápido y sencillo de efectuar entre tubos de P.V.C., en diámetros de 25 mm en adelante.

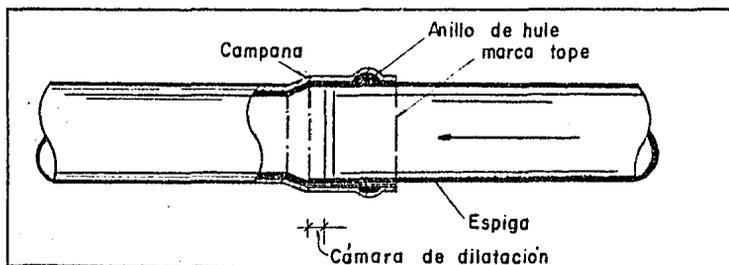


FIG. IV-1 Acoplamiento espiga - campana

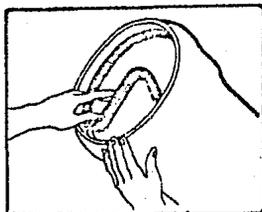


FIG. IV-2 Anillo de hule

## B) Acoplamiento Cementado

Se realiza esta unión aplicando cemento en el extremo del tubo y en el interior de la conexión y mediante un movimiento firme y parejo se introduce el tubo en la conexión formando de esta manera un sello hermético. (ver figuras IV-3 y IV-4).

Este tipo de unión se aconseja para sistemas de abastecimiento de agua o presión, productos industriales y en todos aquellos casos en que se trabaje con fluidos peligrosos.

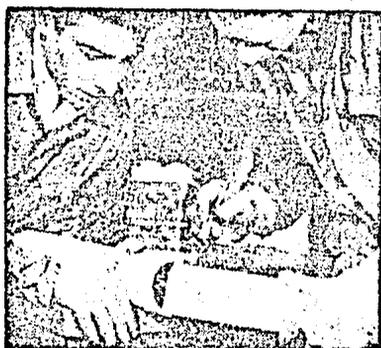


FIG. IV-3 Preparación del tubo para la conexión



FIG. IV-4 La conexión está hecha

C) Acoplamiento Combinado, espiga-campana con anillo de hule y Cementado.

Este tipo de acoplamiento se recomienda para instalaciones muy especiales, en donde la tubería estará sometida a esfuerzos mecánicos externos muy grandes, como es el caso de -- instalaciones submarinas, en ríos, lagos y pantanos. Para - este tipo de instalaciones las tuberías son fabricadas espe<sup>cialmente</sup>cialmente.

D) Unión Soldada.

Este tipo de unión se aconseja sólo para casos en los que - el área de cementación no sea suficiente, y entre piezas - con espesor mayor que 2 mm o bien, con diámetros de 75mm en adelante. (fig. IV-5).

Para efectuar este tipo de unión se requiere mano de obra - muy especializada y condiciones de fabricación controladas.



FIG. IV-5 Unión mediante soldadura

### E) Unión Bridada.

Este tipo de unión se recomienda como adaptador entre tubos de P.V.C. y cualquier otro tipo de tubería; es muy útil para casos en donde se necesita montar y desmontar la línea con cierta frecuencia, como en el caso de bocas de riego -- por aspersión, válvulas, sistemas de Bombeo, tanques de almacenamiento, etc.

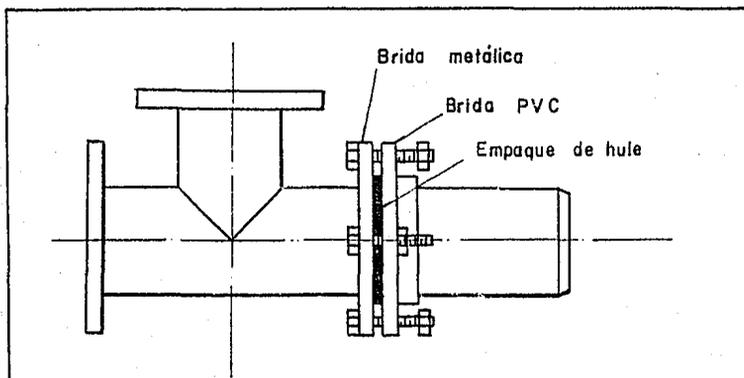


FIG. IV-6 Unión bridada

### F) Unión Roscada.

El roscado en tubos de P.V.C., como en cualquier otro tipo de tubos, implica una disminución de espesor de pared. Por tal razón se recomienda el uso de tubos y conexiones de P.V.C. tipo "roscar" cuyas presiones de trabajo se encuentran especificadas en normas. Este tipo de unión también se utiliza para unir tubería de P.V.C. con tubería metálica. (Ver figuras) no se recomienda para caso de manejo de fluidos a alta presión.

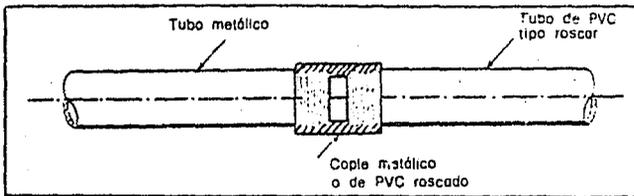


FIG. IV-7

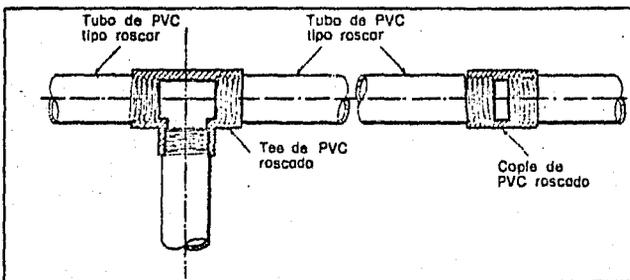


FIG. IV-8

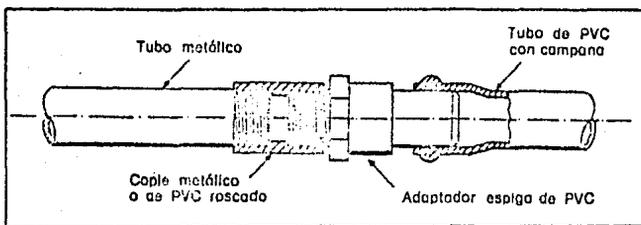


FIG. IV-9

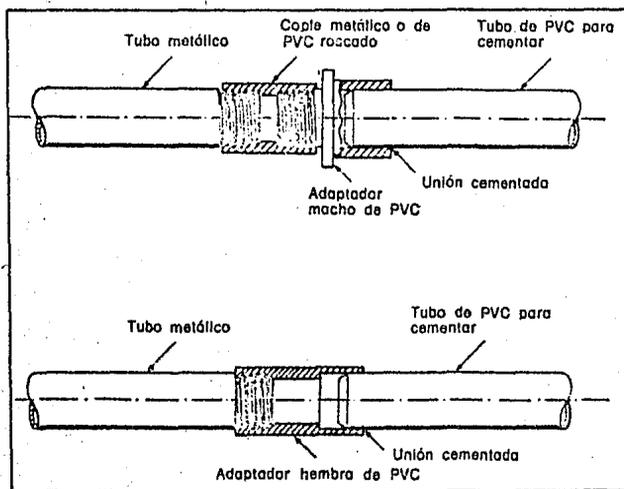


FIG. IV-10

Las tuberías de P.V.C. con espiga-campana para anillo de hule trabajan con las siguientes presiones.

clase	presión.
RC-26	11.2 Kg/cm <sup>2</sup>
RD-32.5	9.0 Kg/cm <sup>2</sup>
RD-41	7.1 Kg/cm <sup>2</sup>

las tuberías de P.V.C. para cementar trabajan con presiones igual a:

clase	presión.
RD-13.5	22.4 Kg/cm <sup>2</sup>
RD-26	11.5 Kg/cm <sup>2</sup>
RD-41	7.1 Kg/cm <sup>2</sup>

las piezas como tes de derivación, codos, coples, etc. estan fabricados en material fundido y soldado u obtenido por inyección; su colocación se efectúa casi siempre por cementado.

La colocación de las tuberías exige tomar cierta precaución, pues los tubos son relativamente frágiles y además estan sometidos a dilataciones importantes:

- Los emplames deben tener como mínimo la longitud del diámetro del tubo. El ajuste debe ser tal que antes del decapado, de dos terminales no puedan introducirse el uno en el otro.

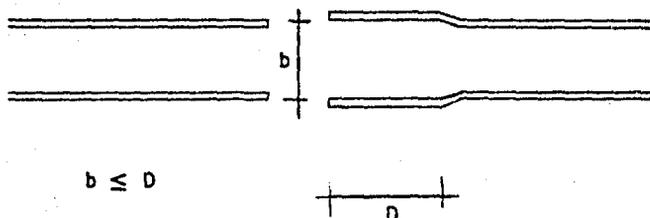


Fig. IV-11 Ensamble de tubos  
en materia plástica.

- Las colas a base de resina sintética deben aplicarse rápidamente, pues se secan casi instantáneamente.
- Los tubos deben introducirse una longitud igual al diámetro del tubo.

La colocación de piezas especiales se realiza normalmente con colas muy cargadas y que secan lentamente.

- Es conveniente evitar derivaciones muy pronunciadas y si se está obligando a hacerlas, es necesario entonces que estas piezas sean protegidas por pequeños macizos de hormigón o por fuertes piquetes.
- Los tubos deben serpentear mucho en el fondo de la zanja y los terraplenados deben efectuarse cuando la temperatura ambiental no sea muy elevada; lo mejor es rellenar las zanjas a primera hora de la mañana o a última de la tarde.

### 1.1.2 Tubería de Polietileno.

Igualmente se emplean tubos de polietileno (alta, media na y baja densidad) que tienen la ventaja de ser semi - flexibles y se pueden transportar enrollados en tambo - res que tengan como mínimo 25 veces su diámetro. Su co - locación es sencilla, pues existen de longitudes muy -- grandes lo que evita los empalmes y permite una cierta agilidad de colocación; además se pueden enterrar los - tubos de pequeño y mediano diámetro con la ayuda de un subsolador con obús. El inconveniente mayor del polieti leno reside en el hecho de que las tuberías no pueden - ser encoladas ni soldadas; los empalmes sólo se pueden hacer por medio de inserción con extrías externas y -- unión con silletas.

#### A) Inserción con Extrías Externas.

Para que este tipo de unión se efectue adecuadamente es necesario que el contacto entre tubo y conexión sea de tal manera que forme un sello hidráulico y además que - haya una sujeción de la parte intertada, que permita -- las tensiones provocadas durante la instalación y opera ción del sistema.

La sujeción necesaria y el sello hidráulico se pueden - lograr por la elasticidad y memoria elástica del tubo - o por medio de abrazaderas que sujeten al tubo contra - la conexión cuando este no tenga elasticidad y memoria elástica suficiente, siendo de este tipo el polietileno de alta densidad, las abrazaderas también se utilizan - para unir tubería de polietileno con otra clase de tube

ría de polietileno con otra clase de tubería. Estas abrazaderas deben ser de un material altamente resistente a la corrosión. (Ver fig. IV-12).

Pero por otro lado, debe mencionarse que las abrazaderas constituyen un gasto adicional y que actualmente tienen precio elevado y no son resistentes a la corrosión, por lo tanto para este tipo de conexiones se deben seleccionar aquellos tubos cuyo material tenga la suficiente --- elasticidad para formar el sello hidráulico aceptable -- sin necesidad de abrazaderas, entre estos materiales pue de mencionarse los polietilenos de mediana y baja densidad.

Estos polietilenos como todos los plásticos son susceptibles a los fenómenos de intemperismo; es decir, expuestos a los rayos del sol y a los cambios de temperatura, después de cierto tiempo, sufren una degradación en sus propiedades mecánicas.

Para evitar esta degradación es necesario agregar al --- plástico, una substancia que le de propiedades antioxidantes y estabilizadoras contra rayos ultravioleta.

Esta substancia es el "negro de humo" agregado en cantidades de 2 al 3%, el cual debe ser bien dispersado para que el material así mejorado tenga uniformidad en sus ca racterísticas.

Además, el polietileno de baja densidad ofrece la desven taja, sobre el de media densidad, que es susceptible al "Stress Cracking" que se manifiesta por medio de cuarteo

duras en el tubo, lo cual se hace crítico principalmente en las uniones.

Por lo anterior, se puede afirmar que el tubo más adecuado para un equipo de riego (principalmente por goteo), es aquel que esté fabricado con polietileno de mediana densidad y pigmentado de origen (en el momento de fabricar la materia prima) con negro de humo al 2 ó 3%, (fig. IV-13).

Sin embargo en la actualidad, casi ya no se fabrica polietileno de mediana densidad para riego, siendo la tubería de polietileno de alta densidad las más utilizadas en el riego, apesar de ser más cara.

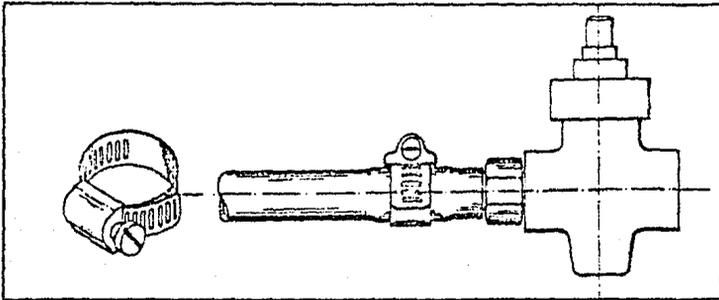


FIG. IV-12 Polietileno de alta densidad

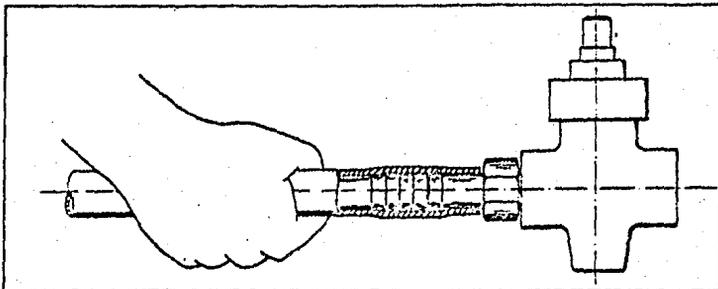


FIG. IV-13 Polietileno de mediana densidad

## B) Unión con Silletas.

Este tipo de unión es el que presenta más dificultades técnicas como son:

- Es difícil hacer una perforación correcta en el campo es pecialmente cuando se deben hacer en tubos de diámetro pequeño.
- No se forma un cierre hidráulico adecuado especialmente cuando se hace sobre un tubo flexible.
- La fijación de las piezas en general es muy débil y por lo tanto, casi siempre hay fugas de agua.
- No es posible usar empaques por que se encarece el sistema.

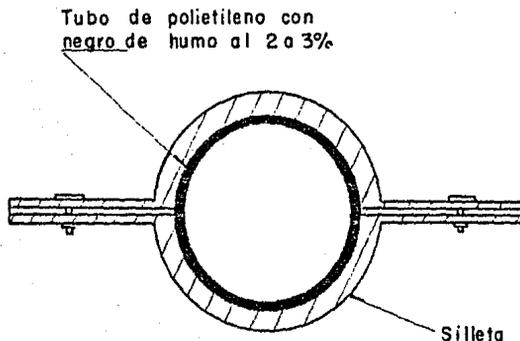


FIG. IX-14 Unión con silleta

Los tubos de polietileno de alta, mediana y baja densidad estan diseñados para una presión de trabajo (según norma oficial NOM-E-18-1969) utilizada para el cálculo de riego por goteo de:

Polielileno de alta densidad	RD norma inglesa	Presión de trabajo Kg/cm <sup>2</sup>
	RD-9	8.8 Kg/cm <sup>2</sup>
	RD-11.5	7 Kg/cm <sup>2</sup>
	RD-15	5.6 Kg/cm <sup>2</sup>

**Nota:**

Para tubería mayores de 1" se utiliza unicamente RD-15 para presiones de 5.6 Kg/cm<sup>2</sup>. Esta tubería solo se fabrica hasta 3" trabajando con una presión de 5 Kg/cm<sup>2</sup>.

Polielileno de mediana densidad	RD-9	8 Kg/cm <sup>2</sup>
Polielileno de baja densidad	RD-5	3 Kg/cm <sup>2</sup>

Las tuberías de plástico se fabrican en longitudes variables de 6 a 10 M para los tubos de cloruro de polivinílico (P.V.C.) y en rollos de 20 a 500 m para los tubos de polietileno; las tuberías empleadas en el riego están calculadas para presiones de servicio de 4, 6 ó 10 Kg /cm<sup>2</sup>.

Las paredes de estos tubos, perfectamente lisas, permiten obtener pérdidas de cargas mínimas.

Actualmente las conducciones de plástico son casi unicamente empleadas enterradas, pues son relativamente frágil

les y algunas se despolimerizan con la luz y pierden así más o menos rápidamente sus características; hay sin embargo ciertos tipos concebidos para utilizarse en superficie y a los cuales les son de aplicación los inconvenientes señalados, pero se está haciendo un gran esfuerzo para obtener conducciones competitivas en cuanto a resistencia y a duración.

### 1.1.3 TUBERIA DE ACERO.

Si cada vez se emplean más los tubos de plástico como tuberías fijas o semifijas de superficie son generalmente metálicas de acero o metal ligero, el acero tiene excelentes cualidades de robustez, los metales ligeros son de un manejo muy cómodo. Las uniones entre tubos están constituidas por bridas o por puentes que aplastan una junta de caucho y tienen todos un punto común; la facilidad y rapidez de unión.

Para estas tuberías hay un gran número de piezas de acoplamiento o de derivación; cuando las tuberías metálicas están enterradas, deben protegerse de la corrosión bien por impregnación o base de productos bituminosos o bien por galvanización.

### IV-1.2 TUBERIAS MOVILES.

Constituyen actualmente, el material fundamental empleado en el riego, ya que en la mayoría de los casos, es imposible prever instalaciones que cubran toda la superficie a regar, por que ha hecho concebir materiales ligeros que puedan ser fácilmente desplazables, que perm

tan uniones rápidas, perfectamente estancas y resisten --  
tes. Al principio, las tuberías eran casi unicamente de -  
acero galvanizado en caliente, este material continua adeu  
más con tenaces defensores.

La aparición de tubos de aleaciones ligeras a base de aluu  
minio no han modificado considerablemente el mercado ni -  
ha modificado los métodos de empleo de las conducciones -  
clásicas en acero; estos tubos no han sustituido realmenu  
te a aquellos, pero han permitido ciertamente un desarrou  
llo más rápido de los riegos.

Ultimamente, los plásticos (P.V.C. y polietileno) han cou  
menzado a competir con las tuberías metálicas, pero sin -  
modificar realmente los métodos de empleo, pues todas esu  
tas tuberías metálicas o plásticas tienen un cierto númeu  
ro de puntos comunes: su relativa ligereza, su longitud -  
(6 m en pequeños diámetros, 6 y 9m en grandes diámetros)  
y sus acoples estancos y rápidos que permiten una cierta  
holgura de movimiento.

Los accesorios de estas tuberías de acero, aleaciones liu  
geras y plásticos: codos, tes, cruces, válvulas, están -  
generalmente provistos de uniones análogas a los de es -  
tas tuberías y son frecuentemente de acero galvanizado -  
cualquiera que sea el material del que estan compuestas  
las tuberías sobre las que se empalman.

Los acoplamientos rápidos de estos tubos son de dos tiu  
pos :

los acoples mecánicos  
los acoples hidráulicos.

#### A) Acoples Mecánicos.

En estos la estanqueidad se obtiene aplastando un aro de caucho entre los extremos de los tubos, el cierre se obtiene mediante una palanca o un gancho que mantiene la unión fuertemente comprimida.

Las operaciones de acoplar o desacoplar son relativamente complicadas, por que es necesario colocar los tubos de forma que quede hacia arriba el acople y manipular las palancas o los ganchos.

#### B) Acoples Hidráulicos.

En los acoples hidráulicos, la estanqueidad está asegurada por una unión de labios que encierra fuertemente el tubo macho cuando el agua se pone a presión; unido simplemente al acople hay un gancho o un dispositivo cualquiera que impide el desacople cuando se mueve la instalación. Estos acoples generalmente son más simples que los mecánicos.

El acoplar y el desacoplar se puede hacer a distancia, ya que es suficiente introducir el tubo macho en la copa del tubo hembra para asegurar la estanqueidad, que es independiente del sistema de enganche. Estos acoples en general son menos estancos que los acoples mecánicos, por que al menor gramo de arenas puede provocar fugas, por otra parte a menudo despreciables.

En general, se elegirán preferentemente por las razones indicadas antes, los acoples mecánicos para terrenos arenosos o graveras, ya que ciertos constructores han evitado el inconveniente de la introducción de arena en la junta, aislando del suelo el acople mediante la colocación de un pequeño patín que alza el acople.

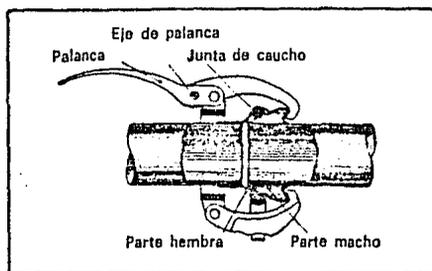


FIG. IV-15 Acople Mecánico

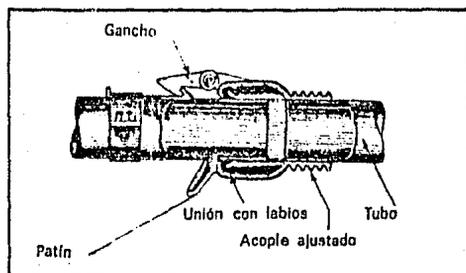


FIG. IV-16 Acople Hidráulico

## IV-2 ASPERSORES.

La distribución del agua puede hacerse con una serie de aparatos:

- Tuberías perforadas
- Aspersores rotativos
- O dispositivos derivados de estos sistemas.

La primera cualidad que debe ser común a todos estos aparatos es un perfecto reparto del agua sobre el suelo.

La elección del aparato depende:

- del volumen a suministrar en cada rotación
- de la pluviometría a no sobrepasar
- de la presión utilizable
- de la duración de la posición
- de las posibilidades de desplazamiento
- de la naturaleza del suelo y de las plantas.

## —Tuberías Perforadas.

Son generalmente tuberías metálicas o plásticas que llevan perforaciones o boquillas repartidas a intervalos regulares a todo lo largo del tubo.

Estas aberturas están colocadas o bien a lo largo de la generatriz superior, lo que hace que el agua sea proyectada en capa o en conos según el diseño de la tobera, - bien a ambos lados de la generatriz dando así un cierto ángulo a los chorros.

Las tuberías que proporcionan un riego en capa son oscilantes normalmente, lo que permite obtener una uniformidad de reparto del agua regando un sector relativamente importante. Por el contrario las tuberías cuyas aberturas están colocadas a ambos lados del tubo o con chorros cónicos, son normalmente fijas.

Estos aparatos de riego tienen la ventaja de que funcionan a baja presión, de 0.5 a 2 Kg/cm<sup>2</sup>; por el contrario, los chorros son cortos, de 5 a 10 m como máximo, y la pluviometría es importante, de 10 a 50 mm por hora, lo que obliga a efectuar posiciones de muy corta duración.

Este método constituye uno de los más costosos y solo es aplicable a regiones con un alta humedad relativa.

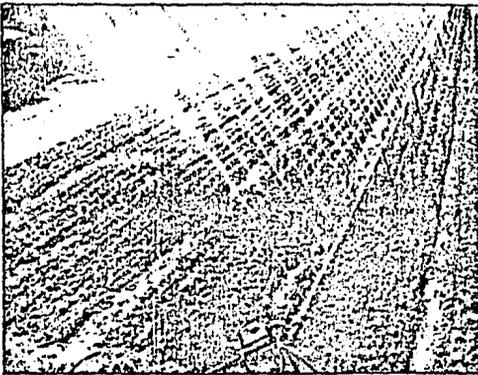


FIG. IX-17 Tubería perforada

#### —Aspersores Rotativos.

Constituyen actualmente los principales aparatos de distribución. La concepción es la misma para todos y están esencialmente constituidos por una tobera, simple o do -

ble, provista de boquillas calibradas; la rotación del aparato es proporcionada por un brazo situado normalmente en el chorro principal o secundario que es separado por éste y en seguida vuelto a su posición inicial por un contrapeso o resorte, o un sistema helicoidal provisto de un estribo, el movimiento del brazo desplaza las toberas alrededor del eje.

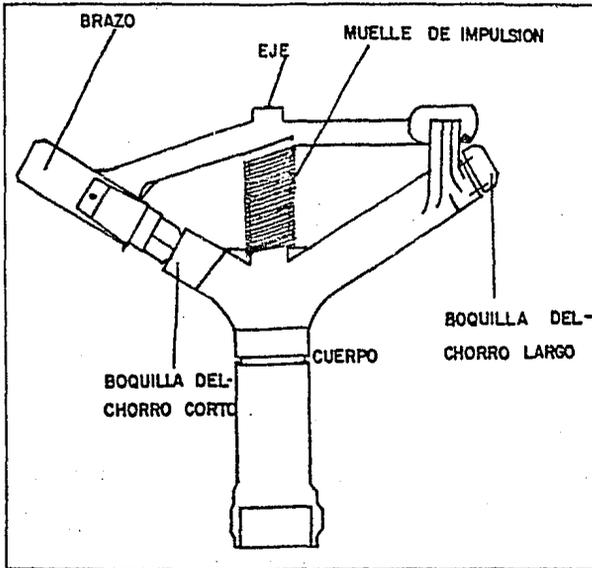


Fig. IV-18

La rotación de algunos aparatos de gran caudal, se realiza por una turbina hidráulica, por una transmisión mecánica o un freno hidráulico, en este último caso la tobera está colocada tangencialmente al eje de rotación.

El giro del aspersor puede ser total o limitado a un sector del círculo, en este último caso un tope obliga al aspersor a volver a su punto de partida.

Entre los aspersores rotativos, se distinguen: los aspersores de baja y media presión y los aspersores de alta presión o cañones de riego.

Entre todos, los aspersores de baja y media presión son los más empleados los que funcionan con presiones que van desde 1.5 a 4 Kg/cm<sup>2</sup>, pero en general utilizan entre 2.5 y 3.5 Kg/cm<sup>2</sup>; los chorros tienen alcances de 10 a 25 metros, los caudales varían de 0.5 a 7.5 m<sup>3</sup>/hora y las pluviometrías de 2 a 15 mm. , los aspersores de alta presión o cañones de riego, trabajan con presiones de 4.5 a 7 Kg/cm<sup>2</sup>; los chorros de algunos de ellos pueden alcanzar más de 60 m, los consumos pueden variar de 8 a 100 m<sup>3</sup>/hora para pluviometrías de 15 a 25 mm.

Las desventajas de estos aparatos de alta presión residen en que las gotitas son generalmente gruesas y caen desde bastante altura, y que los chorros al ser de alcances muy importantes, son particularmente sensibles a los vientos: cuando la velocidad no sobre-pasa los 4 m/seg, prácticamente no tienen influencia sobre los chorros menores de 15m de alcance; por el contrario los chorros del orden de 30 m son bastante perturbados por los vientos de 2.5m/seg. a 3m/seg.

Además son frágiles y necesitan un gran consumo de energía debido a la presión necesaria excepto en regiones especiales donde los desplazamientos son difíciles, o para los cultivos en los que la uniformidad de reparto no es fundamental, son en general preferibles los aspersores de mediana presión.

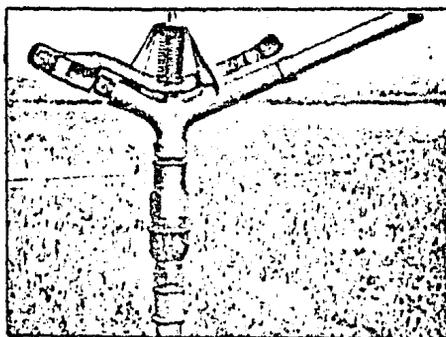


FIG. IV-19 PEQUEÑO CAÑÓN DE RIEGO

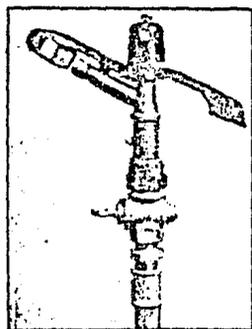


FIG. IV-20 ASPERSOR DE UNA BOQUILLA DE PRESION MEDIA PROVISTO DE UNA LLAVE DE SEPARACION

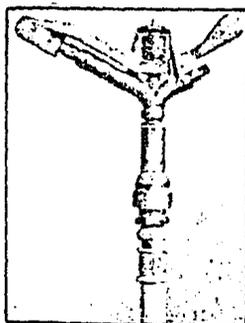


FIG. IV-21 ASPERSOR DE DOS BOQUILLAS DE PRESION MEDIA

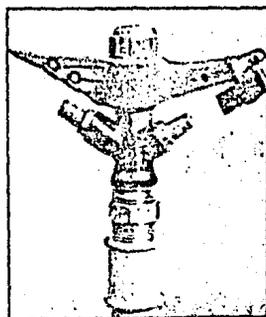


FIG. IV-22 ASPESOR DE PRESION MEDIA

## IV-3 GOTEROS.

Los goteros son válvulas reguladoras de flujo, sostenedoras de presión y de gasto fijo.

Cada gotero debe estar fabricado con material termoplástico de formulación especial contra envejecimiento y de alto intemperismo.

De las publicaciones relativas a trabajos realizados con el sistema de riego por goteo, se obtuvieron los siguientes datos, respecto a gasto de trabajo por gotero (obtenido de ref. 23).

TABLA IV-1 GASTO DE TRABAJO POR GOTERO.

GASTO POR GOTEO			PUBLICACION Y AUTOR
L/h	cm <sup>3</sup> /min	cm <sup>3</sup> /seg.	
1.514	25.23	0.420	El riego por goteo Prof. D. Goldberg.
8.324	138.78	2.313	
2.000	33.33	0.555	Riego por goteo INSTA-REX
4.000	66.66	1.111	
0.757	12.62	0.210	Riego de flujo diario J.D.F. BLACK
7.570	126.18	2.103	
0.273	4.55	0.076	Riego por goteo Ing. P. Mora y X. Uriza.
0.333	5.55	0.092	INSTRUCTIVO DE RIEGO. POR GOTEO SERVICIOS TECNICOS AGRONOMICOS.
0.666	11.11	0.185	
1.000	16.66	0.277	
1.333	22.22	0.370	
1.666	27.77	0.462	
2.00	33.33	0.555	
10.000	166.66	2.766	Riego por goteo en algodonero Ing. David Reyes M.

en los artículos originales los datos están dados en diversas unidades, los autores GOLDBERG y BLACK los presentan - en galones/hora, INSTA-REX y REYES en litros/hora, MORA - URIZA y SERVICIOS TECNICOS AGRONOMICOS los presentan en número de gotas/seg. Para efectuar la comparación se formó - el cuadro anterior y estimar el rango de variación de los gastos por gotero.

En el instructivo para riego por superficie publicado por la S.R.H., por medio de la dirección de pequeña Irrigación (1970) considera para el diseño hidráulico de sistemas de riego por goteo un rango de 1 a 10 litros/hora.

Es importante considerar las unidades con que se presentan los gastos por gotero, por ejemplo a los agricultores, les es fácil entender litros/hora, sin embargo para aforos o calibración de goteros se facilitan las operaciones al trabajar con  $\text{cm}^3/\text{min}$ . y para el diseño hidráulico del sistema, se puede usar  $\text{cm}^3/\text{seg}$ .

Cabe mencionar que generalmente en la actualidad se trabajan con goteros de gasto de 2 y 4 litros/hora.

La carga hidráulica necesaria a la entrada de la línea de goteros (obtenida de la ref.23) depende de dos factores -- fundamentales que son:

- 1° El tipo de gotero
- 2° La pérdida de carga por fricción en la línea de - goteros.

A continuación se elaboró una tabla para diferentes publicaciones, donde se especifica la carga hidráulica necesaria tomando en cuenta los 2 factores.

TABLA VI-2 CARGA HIDRAULICA NECESARIA PARA EL FUNCIONAMIENTO DE LOS GOTEROS.

CARGA HIDRAULICA NECESARIA			TIPO DE GOTERO	PUBLICACION Y AUTOR
metros	Kg/cm <sup>2</sup>	P.S.I.		
10-30	1-3	14.2-42.6	NETAFIM	riego por goteo -- Insta-Rex
10	1	14.22		instructivo para riego por superficie. -- SRH. Dir. de pequeña -- irrigación
5.27-10.54	0.52-1.05	7.5-15.0	MICRO-TUBO	Riego de flujo diario J.D.F. BLACK,
1.5 -10	0.15-1.0	2.13-14.22	Regulación MANUAL	INSTRUCTIVO DE RIEGO POR GOTEO S.T.A.
4.20	0.42	5.97	SALGO (DE REGULACION MANUAL	Estimación de las demandas de agua en guayabo, por el -- sistema de riego por goteo. Ing. Martínez V. y Valdez R.

NOTA: P.S.I representa la presión en libras/pulg<sup>2</sup>.

#### Observaciones.

- A) Los goteros Insta-Rex son de salida constante y requieren carga mayor de 10 metros cuentan con el exclusivo diseño de acción turbulenta que elimina cualquier depósito que interfiera con la salida del agua.

- B) El instructivo de la dirección de pequeña irrigación indica que en general se diseña el riego por goteo con 10 metros de carga en el primer gotero y una pérdida de carga en la línea de goteros de 2 m, con el objeto de obtener una diferencia de gastos entre el primero y el último, del orden del 10%, - esto es correcto haciendo dos consideraciones:

Goteros de salida constante

Línea de goteros a nivel.

- C) El gotero de microtubo (0.9 milímetros de diámetro interior) requiere carga de 10 metros para trabajar con gasto de 2 galones/hora ó  $2.103 \text{ cm}^3/\text{seg}$ , cuando el microtubo tiene una longitud de 11 pulg. ó 27.94 cm.

Recomiendan que para cada libra/pulg<sup>2</sup> que exceda la presión de suministro a 15 lb /pulg<sup>2</sup> (solo para valores cercanos a 15 lb/pulg<sup>2</sup>) se debe aumentar una pulgada de longitud al microtubo y por cada lb/pulg<sup>2</sup> que falte para 15, se recorten una pulgada los microtubos.

- D) Los goteros de regulación manual son los que necesitan cargas inferiores, para entregar gastos mayores, generalmente con 2 m de carga pueden entregar gastos mayores de 10 litros por hora y es muy difícil regularlos con gastos de 2-5 litros/hora es indispensable que se calibren los goteros para determinar el rango de gastos con las cargas necesarias correspondientes, este trabajo debe realizarse antes de la instalación con el objeto de obtener el dato para el diseño hidráulico del sistema.

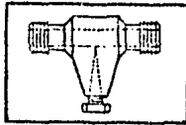


FIG. IV-23 Emisor (gotero)

#### IV-4 EQUIPO UTILIZADO EN EL PROYECTO MEDIANTE RIEGO POR ASPERSION.

##### TUBERIA.

La tubería será de P.V.C y se suministra en tramos de 6 m., cada tramo tiene en un extremo una campana tipo anger con anillo de hule, llamado también cople integral sistema anger (utilizando el sistema de unión espiga-campana con anillo de hule).

Esta tubería se fabrica según norma oficial: NOM-E-22 - 1978 y está hecha para resistir la acción corrosiva del suelo y del agua.

La tubería de la línea de conducción tiene un diámetro nominal de 7.5 mm (3"), con un espesor de 2.7 mm y diámetro exterior de 87.5 mm, trabajando con una presión de 9 Kg/cm<sup>2</sup> clase RD-32.5.

Para la tubería de la línea regante el diámetro nominal es de 25 mm (1"), con espesor de 2 mm y de diámetro exterior de 27.5 mm con un peso promedio de 224 gr/m.

### CONEXIONES EN LA TUBERIA.

Las piezas para conexiones se ajustarán a las normas establecidas por los fabricantes.

- Las tes para salida de la tubería regante serán de P.V.C y diámetro nominal de 75 x 25 mm (3" x 1"), estas van unidas a la tubería principal cada 12 m.
- Tes para salida de válvula de aspersor será de P.V.C. -- con diámetro nominal de 25 mm x 25 mm (1" x 1") y roscando en la parte de salida al aspersor; esta té va colocada cada 12 m, sobre la tubería lateral o regante y unida a un cople para la válvula.
- Codo de 90°, será de P.V.C. y va colocado en el cambio de dirección de la tubería principal; es decir en el último lateral que cubre el área de riego. Este codo será de 75 mm (3"), su unión se hace de tubería principal a una reducción espiga de P.V.C. de 75 x 25mm (3" x 1"), para ser unida a la tubería lateral o regante.
- Los tapones de espiga, serán de P.V.C., van colocados al final de cada tubería regante ya definida, el diámetro de estos tapones será de 25 mm(1") y van cementados en su colocación.
- Los coples doble que unirán tubería de igual diámetro, serán colocados cada 6 m, en la línea principal con un diámetro de 75 mm 3", y en la línea lateral se usarán cople doble con un diámetro de 25 mm(1").

Manómetro instalados a la salida del sistema de bombeo indicará si la tubería esta trabajando a la presión especificada.

#### ASPERSOR ELEGIDO.

De acuerdo al gasto por aspersor obtenido igual a 5.71 -- l.p.m. 1.51 g.p.m. (ver pag. 100 ) y a las condiciones -- del terreno, se selecciono el aspersor agrícola de ángulo bajo modelo M-13 con entrada macho de 13 mm, con las características siguientes.

- A) Brinda un excelente coeficiente de uniformidad con 12 m entre aspersores, de círculo completo.
- B) Diseñado para trabajar con presiones bajas de 1.4 Kg/cm<sup>2</sup> (20 l.p.c.)
- C) Gastos que fluctuan de 1.5 a 8.6 g.p.m es decir 5.67 --- l.p.m. a 31.037 l.p.m.
- D) Fabricados con boquillas de ángulo bajo de 7° y 20°, brazo de bronce y aluminio.

#### Características del Aspersor Elegido.

- Diámetro de boquilla = 7/64
- Ángulo bajo de 7° brazo de aluminio
- Presión de trabajo = 20 L.P.C. = 14 m = 1.4 Kg/cm<sup>2</sup>
- Gasto de 1.55 g.p.m. = 5.67 l.p.m.

Nota: datos obtenidos por catálogos Ames-TINSA.

#### CONEXIONES EN EL ASPERSOR.

- a) Coples para válvulas de acoplamiento serán de P.V.C. con un diámetro de 25 mm (1"), y van unidos por medio de roscado a la té que va colocada en la tubería regante.
- b) Válvula de acoplamiento rápido será de bronce roscada 25-mm. de diámetro, esta válvula viene provista de hule con cierre automático, al quitar el acoplador que cae solo -- cuando la válvula no esta en uso. Esta válvula se une al cople por medio de roscado.
- c) Acoplador para válvula será de bronce y con entrada de -- 25 mm (1"). Este se coloca en la válvula cuando se va a -- poner en servicio el sistema para dar paso al agua que ha -- ce funcionar el aspersor.
- d) Reducción campana Zamac, es de fierro galvanizado, rosca -- co en sus extremos y diámetro de 25 mm x 13 mm (1" x ½"), y sieve para unir el acoplador con el aspersor.
- e) Manómetro con tubo pilot instalado a la salida de la bo -- quilla del aspersor, indicando si el aspersor está traba -- jando a la presión especificada.

#### IV-5 EQUIPO UTILIZADO EN EL PROYECTO MEDIANTE EL RIEGO POR GO -- TEO.

##### TUBERIA.

La tubería utilizada es de polietileno de alta densidad -- fabricada según la norma oficial NOM-E-18-1969 y está he -- cha para resistir la acción de los rayos del sol; fabrica

da con negro de humo al 2 o 3%.

La tubería de la línea de conducción tiene un diámetro nominal de 75 mm (3"), con un espesor de 3.8 mm, trabajando con una presión de trabajo de 5 Kg/cm<sup>2</sup>.

Para la tubería de la línea regante el diámetro nominal es de 13 mm (½"), con espesor de 1.5 mm y diámetro interior de 12 mm.

#### CONEXIONES EN LA TUBERIA.

Las piezas para conexiones para tubería de polietileno se ajustarán a las normas establecidas por los fabricantes.

- Las tes reducción plástico a plástico para salida de la tubería regante, será de 75 x 13 mm (3" x 1") de diámetro nominal y estas van unidas a la tubería principal cada 2.20 m.
- Codo adaptador macho de 90° plástico a plástico de 75 mm (3") y va colocado en el cambio de dirección de la tubería de conducción; es decir en el último lateral que cubre el área de riego, su unión se hace de la tubería de conducción a un adaptador reducción hembra con inserción a plástico de 75 x 13 mm (3 x ½") para ser unida a la tubería regante.
- Los tapones de inserción de 13 mm (½"), van colocados al final de cada tubería regante ya definida.
- Filtros tipo irrigación de 75 mm(3"), este va colocado al inicio de la línea de conducción, para evitar que los sedimentos tapen los goteros.

- Las abrazaderas serán de 75 mm (3") y 13 mm ( $\frac{1}{2}$ ") de fierro galvanizado resistentes a la corrosión, estas son utilizados para sujetar las tuberías contra las conexiones.

#### GOTERO ELEGIDO.

Se eligió el gotero garlo, de 13 mm ( $\frac{1}{2}$ ") de diámetro nominal, con gasto de 2 litros/hora.

#### IV-6 TIPOS DE VALVULAS.

##### A) Válvula de Purga.

Estas válvulas se colocan en la parte baja de la conducción y sirven para limpiarla de los azolves que se hayan acumulado (se instalan sólo si la conducción es larga y, en general, se usan las del tipo de mariposa).

##### B) Válvulas de Retención.

Una válvula de este tipo siempre debe instalarse en la tubería de descarga de la bomba, para evitar que las ondas del golpe de ariete, al cerrar una válvula, lleguen hasta la bomba.

Otra válvula de este tipo debe instalarse en la tubería de succión de la bomba para evitar pérdida de agua, al parar la bomba, y mantener el cebado de la misma.

- C) Válvulas aliviadoras de presión y válvula Check se usan para disminuir el efecto del golpe de ariete, ya que cuando la presión interior de la tubería sobrepasa la resistencia del resorte, éstos se abren, permitiendo la salida

de agua.

D) Válvulas de inclusión y expulsión de aire.

Sirven para expulsar el aire que puede haber entrado en la tubería mezclado con el agua o bien para que, al producirse el vacío en la tubería, dejen que el aire entre en la misma y eviten que la tubería se aplaste debido a la presión atmosférica. En general, se colocan en las partes altas de la conducción.

F) Válvulas de mariposa y guillotina.

Estas válvulas sirven para regular y/o controlar el gasto que pasa en una conducción.

G) Válvulas de Compuerta.

Sirven para distribuir el caudal a la línea de conducción.

#### IV-7 EQUIPO DE BOMBEO UTILIZADO

##### TUBERIA.

La tubería será de acero y se suministra dependiendo de la longitud que se requiera para el bombeo. Esta tubería se fabrica según norma oficial NOM-E-1978 y esta hecha para resistir la corrosión del suelo y del agua.

Se utilizará tubería de 76.2 mm (3") de diámetro nominal y con pared de 4.32 mm de espesor con una brida de acero --

clase  $8.8 \text{ Kg/cm}^2$  (soldada en un extremo) esta tubería de 3" trabajará a una presión de  $85 \text{ Kg/cm}^2$ , y también se utiliza tubería de 50.8 mm (2") de diámetro nominal y con pared de 3.91 mm, con 2 bridas de acero clase  $8.8 \text{ Kg/cm}^2$  -- (soldados en dos extremos).

#### CONEXIONES Y VALVULAS.

Las piezas para conexiones se ajustarán a las normas establecidas por los fabricantes.

- Codos de  $90^\circ$  de fierro fundido de 76.20 mm (3") con pared de 12.70 mm bridado clase  $10.5 \text{ Kg/cm}^2$ , 3 codos utilizados para unir la tubería de acero, y 1 codo para unir la tubería de acero con tubería de P.V.C. o polietileno según el método.
- Codo de  $90^\circ$  de fierro fundido de 50.80 mm (2"), con pared de 11.70 mm bridado clase  $10.5 \text{ Kg/cm}^2$ .
- Te de fierro fundido de 76.20 x 50.80 (3" y 2") de diámetro con espesor de 12.70 mm, bridado clase  $10.5 \text{ Kg/cm}^2$ .
- Ampliación de fierro fundido de 50.8 x 76.20 mm, con pared de 12.70 mm ( $\frac{1}{2}$ ") de espesor, bridado clase  $10.5 \text{ Kg/cm}^2$  está sirve para unir la tubería de descarga de 2" con el codo de  $90^\circ$  de 3".
- Junta de fierro fundido tipo Gibaut, que une tubería de -- acero de 82.55 mm ( $3\frac{1}{4}$ ") de diámetro exterior con tubería de acero del mismo diámetro.

- Válvula de retención de 76.20 mm(3"), clase 8.8 Kg/cm<sup>2</sup>. - Se instalará en la tubería de descarga de la bomba, para evitar que las bombas del golpe de ariete, al cerrar una válvula, lleguen hasta la bomba.
- Válvula reductora de presión de 50.8 mm(2"), esta se utilizará para disminuir el efecto de golpe de ariete (visto en el capítulo III).
- Válvula de compuerta de 76.20 mm (3"), clase 8.8 Kg/cm<sup>2</sup>, - se pone para distribuir el agua hacia la línea de conducción.
- Válvula mariposa de 76.20 mm(3"), clase 10,5 Kg/cm<sup>2</sup> esta servirá para que al limpiar el tanque, se cerraría ésta - para no dañar la bomba así como cuando fuera necesario - efectuar algún arreglo en la bomba y el tanque estuviera lleno.
- Válvula de expulsión de aire de 12.7 mm( $\frac{1}{2}$ "), se pone con el objeto de expulsar aire retenido en la succión cuando la bomba no trabaje, la expulsión se efectúa luego de indicarse la operación de la bomba.

## V Conclusiones.

Para la obtención del Uso Consuntivo se utilizaron los métodos de Thornthwaite y Blaney-Criddle ya que son los métodos de mayor uso por la flexibilidad en su aplicación. Los resultados obtenidos al aplicar el método de Thornthwaite son validos cuando se analizan zonas templadas, ya que en zonas áridas o semiáridas los resultados presentan valores diferentes con la realidad.

Aplicando el método de Blaney-Criddle se llega a resultados satisfactorios si se analiza una zona árida o semiárida, no siendo aceptables los resultados si se trata de una zona templada.

Si se emplea la modificación de Phelan a la teoría de Blaney-Criddle se obtienen resultados muy aceptables tanto para zonas áridas o semiáridas como para zonas templadas, resultando así un método mas general, tomando en cuenta que se debe de ajustar el método de Blaney-Criddle en lo que se refiere a los coeficientes de crecimiento y globales del cultivo.

Esta modificación de Phelan da resultados que fluctúan entre 5 y un 10% con respecto a las teorías de Blaney-Criddle y Thornthwaite, dependiendo del tipo de zona que se esté analizando.

La diferencia que se presentan en las teorías de Thornthwaite y la de Blaney-Criddle modificada por Phelan se refleja en la distribución mensual de los volúmenes de riego ya que no mantiene la misma tendencia.

Para la realización del proyecto se eligió el distrito de riego "La Begoña, Gto", por ser una zona semi-árida, apropiada para el diseño de riego tanto por aspersión como -- por goteo, dado que este último es recomendable generalmente en zonas áridas y semi-áridas.

Se planeo hacer el diseño del riego por dos métodos el de aspersión y goteo, en función de que estos métodos representan las técnicas mas modernas y que permiten obtener -- mayores ahorros de agua en zonas inapropiadas para métodos de riego superficiales.

Los métodos de riego por aspersión y goteo requieren que el agua sea llevada por medio de tuberías, necesitándose un diseño hidráulico mas técnico, haciendo posible además un análisis comparativo de los métodos en cuestión.

Este proyecto pretende ser a manera de ejemplo para los -- métodos de riego mencionados, siendo, esta la razón de to mar un área relativamente pequeña para fines agrícolas. -- Por otra parte el tener un área reducida nos permite planear el riego simultáneo de todos los emisores (aspersores ó goteros). Cabe mencionar que si se tubiese un área mayor es recomendable distribuir el riego por bloques o -- franjas, reduciéndose de nuevo el cálculo para un área pe queña, que es el equivalente a nuestro caso.

Generalmente se utiliza la fórmula de Manning para el diseño hidráulico de riego en México, sin embargo algunos -- autores recomiendan el método de Darcy-Weisbach, principalmente para el riego por goteo, es por esta razón que -- se decidió realizar el diseño hidráulico del riego por as

persión con el método de Manning y el del riego por goteo, con el método de Darcy-Weisbach, además por ser ejemplificativo para los dos métodos.

En el cálculo de las pérdidas locales de las líneas de conducción y regantes (para ambos tipos de riego) se calculan con la velocidad promedio, debido a que las velocidades al inicio y al final de la línea son muy diferentes, a causa de la disminución constante del gasto en cada salida, resultando una disminución lineal de la velocidad, sin embargo para el caso de las líneas regantes en el riego por aspersión, no se usó la velocidad promedio, debido a que se tienen muy pocos emisores solamente (3 aspersores) y esto no se traduce en una diferencia importante si se calculan las pérdidas con la velocidad máxima (a la entrada de la línea).

Para la selección de los diámetros fué conveniente escoger aquellos que producen menores pérdidas de carga, porque si se utilizan diámetros mas pequeños con cargas mas grandes, aunque estos resultan mas económicos, se eleva mucho el costo del bombeo y resultaría impráctico tener cargas tan altas para gastos tan reducidos.

En lo referente al tipo de tubería se escogió la de P.V.C. la cual irá enterrada para el riego por aspersión por que es más económica que las metálicas, siendo estas últimas preferibles en el caso de tener un sistema portátil o semi portátil para evitar costos elevados, sin embargo en este caso se prefirió un sistema fijo, recomendable para evitar el maltrato del cultivo y el encarecimiento de la mano de

obra por ser un área pequeña además en México se tiene por práctica general diseñar el riego por aspersión con tubería de P.V.C. El riego por goteo se podría diseñar tanto con P.V.C., mientras que el polietileno podrá ser instalado superficialmente ya que es más resistente contra el intemperismo.

Los resultados obtenidos por los dos cálculos (aspersión y goteo) se presentan comparativamente en la siguiente tabla.

TABLA IV-3 resultados obtenidos por los dos cálculos (aspersión y goteo)

	CONCEPTOS	METODOS	
		ASPERSION	GOTEO
Línea de Conducción	Diámetro interior	8.21 cm	7.62 cm
	Diámetro nominal	3 pulg.	3 pulg.
	Gasto necesario	$0.009\text{m}^3 = 8 \frac{\text{litros}}{\text{seg.}}$	$0.007\text{m}^3 = 7 \frac{\text{litros}}{\text{seg.}}$
	Pérdidas de carga real	3.89 m	3.15 m
	Tipo de Tubería	P.V.C.	Poliétileno
Líneas laterales o regantes	Diámetro interior	2.35 cm	1.2 cm
	Diámetro nominal	1 pulg.	$\frac{1}{2}$ pulg.
	Gasto necesario por línea regante	$0.000286\text{m}^3 = 0.286 \frac{\text{lit}}{\text{seg.}}$	$0.000045\text{m}^3 = 0.045 \frac{\text{lit}}{\text{seg.}}$
	Pérdidas de carga real	0.7 m	0.34 m
	Tipo de tubería	P.V.C.	Poliétileno
Línea de conducción	Pérdidas Locales	1.91 m	7.24 m
Línea regante	Pérdidas Locales	0.12 m	0.17 m
Otros	filtro	—	4.00 m

Bombeo	Carga necesaria para el funcionamiento de los emisores.	14.0 m	10.00 m
	Pérdidas de succión	0.28 m	0.07 m
	Pérdidas en la descarga	7.58 m	0.50 m
	Carga estática	1.17 m	1.17 m
Bomba	Total de pérdidas de carga en todo el sistema	29.65 m	26.64
	Eficiencia ( $\eta$ )	60%	60%
	Potencia del motor	5 H.P.	4 H.P.

Se observa que el riego por goteo tiene un mayor ahorro en el gasto, sin embargo esta diferencia es engañosa debido a que se tiene mayor tiempo de operación, utilizándose mayor cantidad de agua por ser un método recomendable para zonas más áridas, en las cuales el riego por aspersión se vuelve menos eficiente. También se puede notar que las cargas totales para el bombeo son prácticamente iguales en los dos métodos y que las tuberías de conducción para los dos tipos de riego fueron iguales, por tal razón el equipo de bombeo es igual para uno como para el otro método.

Algunos agrónomos recomiendan el riego por goteo para el cultivo de hortalizas por que el riego por aspersión puede dañar sus hojas. Sin embargo otros especialistas prefieren el riego por aspersión en este tipo de cultivos por que el goteo resulta muy costo, a menos que una zona muy árida lo requiera.

## BIBLIOGRAFIA

Ref. No.

- 1.- DIRECCION DE PROYECTOS DE GRANDE IRRIGACION, " Proyecto de zonas de riego", Secretaría de Recursos Hidráulicos, México (1971).
- 2.- JUAREZ BADILLO Y RICO RODRIGUEZ, "Mecánica de Suelos", tomo I, editorial Limusa Wiley, México (1972).
- 3.- SERVICIO DE CONSERVACION DE SUELOS DEL DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS, "Relación Planta -- Agua", colección ingeniería de suelos, editorial dia - na, México (1972).
- 4.- DE LOS SANTOS VALADEZ, S., "Metodología para la determinación y cálculo del Uso Consuntivo", Memorándum Técnico No. 290, Secretaría de Recursos Hidráulicos, México (1971).
- 5.- "Instrucciones y criterios para preparación de riego", Memorándum Técnico No. 291, Secretaría de Recursos Hidráulicos.
- 6.- SUBSECRETARIA DE AGRICULTURA Y OPERACION, "Lechuga; recomendaciones para su cultivo", Folleto de orientación técnica IV.
- 7.- SUBSECRETARIA DE AGRICULTURA Y OPERACION, "Características de distritos y unidades de riego", Tomo II, Región: Noreste, centro II y Sureste, S.A.R.H.

- 8.- SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS, -  
"Manual de normas de proyecto para obras de aprovisiona  
miento de agua potable en localidades, urbanas de la Re  
pública Mexicana", México (1979).
- 9.- PROGRAMA COPLAMAR, "Instructivo para estudio y proyecto  
de abastecimiento de agua potable", S.A.H.O.P.
- 10.- GUILBERTO SOTELO AVILA, "Hidráulica general", volumen I,  
fundamento, editorial limusa, México (1974).
- 11.- HORACE W. KING, CHESTER O. WISLER and JAMES G. WOOD - -  
BURN, "Hidráulica", editorial Trillas, México (1980).
- 12.- CULLOCH ALLAN WMC, "Riego por aspersión, elementos bási-  
cos" Dirección de promoción y evaluación, S.R.H.
- 13.- ALVARO DIAZ SOSA, "Proyecto de un sistema de riego por -  
aspersión para implantarse en la Av. López Mateos de Ati-  
zapán de Zaragoza, Edo. de México", Tesis Profesional.
- 14.- SERVICIO DE CONSERVACION DE SUELOS DEL DEPARTAMENTO DE  
AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMERICA, "Riego -  
por aspersión", Editorial Diana.
- 15.- GUERRA ROBERTO "Riego por aspersión", Instituto Nacional  
de Recursos Hidráulicos.
- 16.- SAINT-FOULE, JEAN D'AT DE, "Riego por aspersión".
- 17.- AGRICULTURA DE LAS AMERICAS, "Método práctico para cál-  
culo y diseño de un sistema de riego por aspersión", S.  
R.H.

- 18.- VALENZUELA, R.T., "Principios básicos del riego por goteo", Memorándum Técnico No. 296, Secretaría de Recursos Hidráulicos, México (1971).
- 19.- GOLDBERG D., JSHMUELL M., "Instructivo de riego por goteo", Memorándum Técnico No. 263, Secretaría de Recursos Hidráulicos.
- 20.- PEQUEÑA IRRIGACION, DIRECCION GENERAL DE MEXICO, "Riego de flujo diario (riego por goteo)", S.R.H-D.G.P.I.
- 21.- ROSALES JAIME, JUAN RAUL, "El riego por goteo del maíz en el delta del Río Yaqui, Sonora", Memorándum Técnico No. 308, S.R.H., México (1972).
- 22.- PEÑA, PEÑA EFREN, "Funcionamiento hidráulico, diseño y evaluación de sistemas de riego por goteo", CENAMAR.
- 23.- PEÑA, PEÑA EFREN, "Diseño hidráulico del proyecto de riego por goteo Yohualica", Memorándum Técnico No. 293, Secretaría de Recursos Hidráulicos, México (1971).
- 24.- OBREGON, APOLINAR "Avances de investigación en la producción de cultivos hortícolas con el método de riego por goteo", S.R.H.
- 25.- CLAUDIO MATAIX, "Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas", segunda edición, edotorial Harla, México (1982)
- 26.- MANUEL VIEJO ZUBICARAY, "Bombas, teoría, diseño y aplicaciones" editorial Wiley, México (1972).

27.- REX-NETAFIM, AMES-TINSA, GARLO, RAIN-BIRD PLASTICOS-  
--  
REX, "Catálogos para Tuberías, conexiones, aspersores y  
goteros".