



RIEGO POR ASPERSION

Prof. Javier López

El sistema de riego por aspersión es relativamente nuevo. Comienza verdaderamente a usarse ahora, pues los agricultores tienden cada vez más a mecanizar sus fincas. Su desarrollo a un ritmo mayor empezó después de la segunda guerra mundial cuando se abarató el aluminio

En este método de riego el agua se aplica en forma de llovizna, la cual se produce mediante el paso de agua a presión a través de tuberías, de las que sale por pequeños orificios. Esta presión se obtiene normalmente por medio de una bomba centrífuga, aun cuando se pueden también aprovechar cargas de bidas a diferencias de nivel.

Ventajas:

Este sistema ha adquirido y seguirá adquiriendo una gran importancia, ya que posee innumerables ventajas, de las cuales citaremos brevemente las más importantes a continuación:

- 1.- Alta eficiencia de aplicación del agua y uniformidad en su penetración, lo cual hace recomendable su uso, especialmente cuando hay una disponibilidad limitada de ese recurso y, además, cuando el terreno es muy permeable. Esto último hace muy difícil y deficiente el riego por métodos superficiales ya que en suelos de esa naturaleza es difícil una buena distribución de la humedad. Aún cuando en los métodos de gravedad es posible obtener la misma alta eficiencia si están bien diseñados, en aspersión, la aducción se hace frecuentemente por tuberías eliminando las pérdidas por conducción.
- 2.- Puede usarse prácticamente en suelos de cualquier pendiente, con peligro muy remoto de erosionar los suelos y sin necesidad de nivelación.
- 3.- Puede ser usado prácticamente en todo tipo de suelos, en algunos de los cuales no deben o no pueden utilizarse los sistemas superficiales tales como los de alta tasa de infiltración. También puede utilizarse en suelos poco profundos, en los que no se puede nivelar sin peligro de que se elimine totalmente el horizonte superficial.
- 4.- En la aplicación de agua para germinación de las semillas aventaja los métodos superficiales, pues en germinación se requieren riegos muy suaves, los cuales son muy difíciles de aplicar por los métodos superficiales comunes, además, en estos últimos el agua es difícil que llegue a todas las semillas ya que debe subir por capilaridad, lo cual da por

1.
resultado una germinación irregular. En este sentido, durante la as-
persión solo habrá de tenerse cuidado en que las gotas caigan fina-
mente divididas de modo que no tapicen las semillas.
- 5.- Es más fácil el control de la lámina de riego lo que permite un mejor
riego y satisfacer el requerimiento de lavaje.
- 6.- Los costos de preparación de tierra disminuyen notablemente. El te-
rreno se divide menos, ya que se construye menor número de canales,
etc. Esto facilita el mejor uso de maquinaria para las diversas la-
bores agrícolas, y además, aumenta la superficie servida. (A veces
puede molestar el paso). También se eliminan los costos de nivela-
ción.
- 7.- Se pueden aplicar junto con el riego abonos líquidos o solubles y
substancias de uso fitosanitario. De este modo, los abonos se distri-
buyen mucho mejor, y su aplicación es más económica. El tratamiento
de insecticidas y herbicidas puede hacerse siempre y cuando estos no
sean corrosivos. (Tiene dificultad práctica en la desinfección).
- 8.- Se economiza en mano de obra, ya que el operador no necesita estar -
presente durante todo el tiempo de aplicación, lo cual ocurre general-
mente con los métodos superficiales.
- Vale la pena mencionar el hecho de que esto no es siempre cierto con
los equipos convencionales. Muchas veces el traslado de tubería, los
daños y consecuentes reparaciones de bomba y aspersores, así como -
otros factores administrativos dentro de la finca, inducen a que el -
rendimiento de los regadores sea bajo.
- 9.- Puede haber un mejor control de escurres y erosión, especialmente en
suelos pendientes.
- 10.- Puede ser el método más recomendable en muchas zonas altas que por con-
diciones de piso climático conviene aprovechar para producción de cul-
tivos de zonas templadas y donde por problemas topográficos hay que -
descartar los métodos superficiales.
- 11.- Es más fácil incorporarlo a plantaciones permanentes ya establecidas -
que los otros métodos de riego.

Además de estas ventajas, se podrían enumerar otras muchas. Sin embargo, -
esto no quiere decir que el riego por aspersión sea en todos los casos el más
adecuado para aplicar agua a la parcela, como así lo quisieran, y tratan de
probar, los productores y vendedores de equipos de riego. Si los métodos su-
perficiales se vendieran, también sería numerosa la lista de sus ventajas.

Limitaciones:

- 1.- La limitación más importante del riego por aspersión es el de su alto
costo inicial. Además, hay que tomar en cuenta, por un lado, los cos-
tos fijos, tales como depreciación anual, interés sobre el capital in

vertido y manutención y por el otro, costos de energía necesarios para que el sistema opere y mano de obra para mover los laterales. Sin embargo, al comparar económicamente este método con los tradicionales, - hay que tomar en cuenta la posibilidad de que con el uso del riego por aspersión se obtengan ingresos adicionales por aumento de la cosecha - que podrían justificar entonces su uso.

- 2.- El viento puede distorsionar completamente la distribución del agua en el suelo e igualmente hace disminuir el agua que llega al suelo. Esto implica una baja eficiencia de riego.
- 3.- Las pérdidas de agua por evaporación son mayores que en los métodos superficiales corrientes, pues aquí la lluvia sale bajo forma de pequeñas gotas que, en conjunto, tienen una gran superficie. Estas pérdidas por evaporación pueden, en algunos casos, llegar hasta el 50% del agua total aplicada.
- 4.- Algunas veces, el riego por aspersión puede crear las condiciones favorables para el desarrollo de una enfermedad y reducir la efectividad de la aplicación de herbicidas e insecticidas, al ser estos lavados.
- 5.- El impacto de la lluvia en las flores puede en ocasiones causar la caída de aquellas y, por lo tanto, hacer que disminuya la cosecha. Todo esto significa que dicho sistema no puede emplearse en cualquier circunstancia, especialmente debido a su alto costo. En general no debe considerarse como una alternativa de los métodos por gravedad sino como un sustituto de estos en ciertos casos, tales como condiciones de topografía y suelos desfavorables para los riegos superficiales. Puede usarse en terrenos planos pero siempre y cuando la economía por mano de obra y/o agua, sea significativa. Esto será más ventajoso en los cultivos densos y remuneradores.

INFORMACION BASICA Y FACTORES DE DISEÑO

Para diseñar un sistema de riego por aspersión es necesario valorar las condiciones existentes en la parcela. Esta información básica permitirá hacer un diseño más eficiente y económico. En ella hay que darle especial importancia a los siguientes factores:

1.- Topografía del terreno:

Se debe hacer un levantamiento topográfico de la parcela que se va a regar con el fin de determinar la pendiente general, la localización y cotas de las partes más bajas y elevadas de la parcela, la forma y así como el área de ella. Las dimensiones deben ser lo más uniformes posibles.

2.- La Planta:

Es necesario conocer el Uso Consuntivo es decir, los requisitos de agua de las plantas por regar, así como la profundidad efectiva de sus raíces.

Un buen diseño debe satisfacer el pico de la demanda. Sin embargo, por condiciones económicas esto, a veces no se cumple. Igualmente interesa saber el porte del cultivo para asegurarnos que la aspersión se haga - sin obstáculos.

3.- El Suelo:

Se deben determinar las constantes físicas de humedad y la densidad aparente, para así calcular la capacidad de retención de agua en el suelo que junto con los valores de Uso Consuntivo, permitirán determinar la - frecuencia y lámina de riego. Es recomendable hacer determinaciones de la tasa de entrada de agua, pues la razón de aplicación de los aspersores nunca debe ser mayor que la de infiltración, con lo cual se evitan el aguachinamiento, la escorrentía superficial y la erosión del suelo. En ocasiones, ciertos horticultores prefieren tapizar y llenar de agua el surco, en cuyo caso puede prescindirse de este criterio.

4.- El Agua:

La localización de la fuente de agua es importante para determinar la - longitud y distribución más adecuada de la tubería principal. Precisa conocer la disponibilidad de agua para así saber si es suficiente respecto al área que desea regarse. Hay que tomar en cuenta también si ésta disponibilidad de agua es permanente, pues, en algunos sistemas de riego, las dotaciones a las parcelas no se hacen en forma continua sino por turnos, lo cual dificultaría la utilización racional del sistema de riego por aspersión. Es conveniente, además, analizar la calidad de las aguas para los efectos del riego.

5.- El Clima:

El fenómeno climático de consideración más importante es el viento, del que se debe tener, por un lado, una idea aproximada de su velocidad, que juega un papel importante en la eficiencia y, por otro, de su dirección, el cual se debe tomar en cuenta en la disposición de las tuberías. Las altas temperaturas y la baja humedad relativa afectan la eficiencia de riego disminuyéndola.

6.- La Fuente de Energía:

Es conveniente establecer si la energía disponible es combustible y/o - eléctrica. De esta manera podremos seleccionar el tipo de bomba más - adecuada. En estimaciones económicas comparativas se requerirán los datos complementarios para las determinaciones de costo por cada HP. Los equipos a combustible líquido tienen por ventaja el hecho de que dentro de ciertos límites puede regularse a voluntad de presión y caudal, lo cual conviene ocasionalmente. Por el contrario, los impulsados por energía eléctrica operan normalmente a aceleración constante. Sin embargo, cuando los equipos son manejados por operadores de poca experiencia esta limitación se transforma en una ventaja al garantizarse que no van a modificar las condiciones originales de diseño en lo que respecta a presión y caudal.

7.- Otros factores que habrán de tenerse en cuenta serán el costo de mano de obra y los deseos del agricultor. Si, por ejemplo, éste no quiere trabajar los domingos, habrá de diseñarse el sistema para que funcione 6 de los 7 días de la semana. Será necesario conocer cuál es el tiempo diario de operación, haciéndole énfasis al agricultor que éste debe ser el máximo posible.

8.- Disponibilidades del Recardo:

El diseñador debe tener conocimiento de las existencias de equipo en el mercado pues con frecuencia no hay todo lo expuesto en los catálogos. Igualmente ha de conocer los usos y características de todas las piezas, conexiones e implementos disponibles.

DISEÑO

Con fines prácticos la explicación se hará simultáneamente con un ejemplo de diseño. Como ya se mencionó hay primero que recibir la información básica. Supongamos que ésta sea la siguiente:

1.- Topografía

a.) Pendiente: uniforme, con $S_{n-s} = 1\%$ (subiendo)
 $S_{o-o} = 0\%$

b.) Área y dimensiones: 16 Has., 400 mt. x 400 mt.

2.- Cultivos:

a.) Clase: pasto elefante

b.) Profundidad efectiva de las raíces = (Pr) 0.90m.

c.) Uso Consuntivo máximo (U.C.) = 0.60 cm/día.

3.- Suelo:

a.) Textura franco-arcillosa

b.) C.C. = 20.5% P.H.P. = 10%

c.) Densidad aparente (D_a) = 1.4

d.) Entrada básica (E.B.) = 1.00 cm/h.

e.) Porcentaje de agotamiento (ΔP_w) = 50%

f.) Eficiencia de distribución = 80%

4.- Suplencia de agua:

- a.) Cantidad: a libitum
- b.) Calidad: buena
- c.) Fuente de agua: en el medio del extremo norte
- d.) Distancia vertical de la bomba al agua: 1m.

5.- Clima:

- a.) Pérdidas por viento 15% *
- b.) Vientos: regulares de dirección variable de aprox. 6 kph.

6.- Operación:

- a.) Días de riego por semana: 7
- b.) Cambios diarios ** : 2
- c.) Horas de operación por cambio: 11

Una vez obtenida esta información, puede diseñarse el sistema:

1.- Requerimiento bruto diario.

$$R.B. = \frac{UC}{Ef.} = \frac{0.60}{0.80 \times 0.85} \text{ cm./día} = 0.89 \text{ cm./día.}$$

2.- Volumen de agua requerido por día.

$$v = R.B. \times A$$

$$V = 0.89 \text{ cm./día} \times 16 \text{ Ha.} = 14.3 \text{ Ha. cm./día.}$$

3.- a.) Lámina neta a ser aplicada por riego.

$$L.N. = \frac{C. G. - P.H.P.}{100} \times Pw \times Dd \times Pr$$

$$= \frac{20.5 - 10.0}{100} \times 0.5 \times 1.4 \times 0.9 = 6.60 \text{ cm.}$$

(*) Generalmente en los diseños se parte de eficiencias de riego de 70%. Será objeto de evaluación posterior saber cuanto hay de pérdida por viento y por distribución. Pocas veces se divide la eficiencia en este diseño.

(**) El diseñador asigna estos valores y puede haber una rectificación posterior.

b.) Frecuencia de riego (3 intervalo entre riegos en un mismo punto, en días).

$$F. = \frac{L. N.}{U. C.} = \frac{6.60 \text{ cm.}}{0.60 \text{ cm/día}} = 11 \text{ días} *$$

4.- Operación efectiva de los aspersores en horas/día.

En vista de la alta inversión que representa en equipo este sistema, lo ideal es tener la máxima utilización del mismo, de modo que con la misma inversión se cubra mayor superficie. Por esto, en otros países es común diseñar y trabajar el máximo número de horas por día. Esto quizás actualmente no es posible en nuestras condiciones ya que el agricultor no está acostumbrado a ello, es difícil hacer cambios nocturnos y generalmente el agua no es continua. En cada diseño se plantea pues el problema de establecer el número de horas de operación diaria y días de trabajo a la semana. Por tal motivo la estimación máxima posible, pocas veces sobrepasa de 12 horas diarias.

Hay que recordar que se necesita cierto tiempo del jornal en cambios de la tubería aunque simultáneamente a estos, parte del equipo continúe trabajando.

Es necesario hacer una corrección de las horas de trabajo en función del número de días que se opera el equipo, puesto que generalmente no se trabaja el domingo y parte del sábado, mientras que las plantas naturalmente continúan consumiendo agua. Por tal motivo la operación efectiva diaria debe corregirse mediante la siguiente fórmula:

$$T. C. E. = \frac{\text{No. de días que opera/sem.} \times \text{operación de asp. en h/día}}{\text{Número de días de la semana}}$$

En el ejemplo se tiene:

$$T.C.E. = \frac{7 \text{ d./sem.} \times 22 \text{ horas/d.}}{7 \text{ d/sem.}} = 22 \text{ horas/día}$$

5.- Caudal requerido:

a.) Lámina de agua necesitada por hora:

$$L = \frac{V}{T} = \frac{14.3 \text{ Ha. cm/día}}{22 \text{ horas / día}} = 0.65 \text{ Ha. cm/H.}$$

(*) Cuando en el resultado se obtienen decimales, el redondeo se hace generalmente por debajo. A menos que el cultivo permita agotamiento superiores, en cuyo caso hay que devolverse a 3a) para hacer un ajuste de lámina.

- b.) Galones por minuto: La mayoría de los equipos de riego de venta en el mercado tienen sus medidas en pulgadas, y sus tablas y nomogramas, en especial las de aspersores, generalmente están expresadas en pies, libras por pulgada y galones por minuto. A este nivel se hace pues necesario continuar el cálculo con unidades inglesas. El caudal conviene darlo en galones por minuto para lo cual hay que multiplicar las Hc. cm/hora por el factor 440. (También $\text{gpm} = 4,4 \times \text{m}^3/\text{h.}$).

$$\text{g.p.m.} = \text{L.} \cdot 440$$

$$Q = 0.65 \times 440 = 286 \text{ g.p.m.}$$

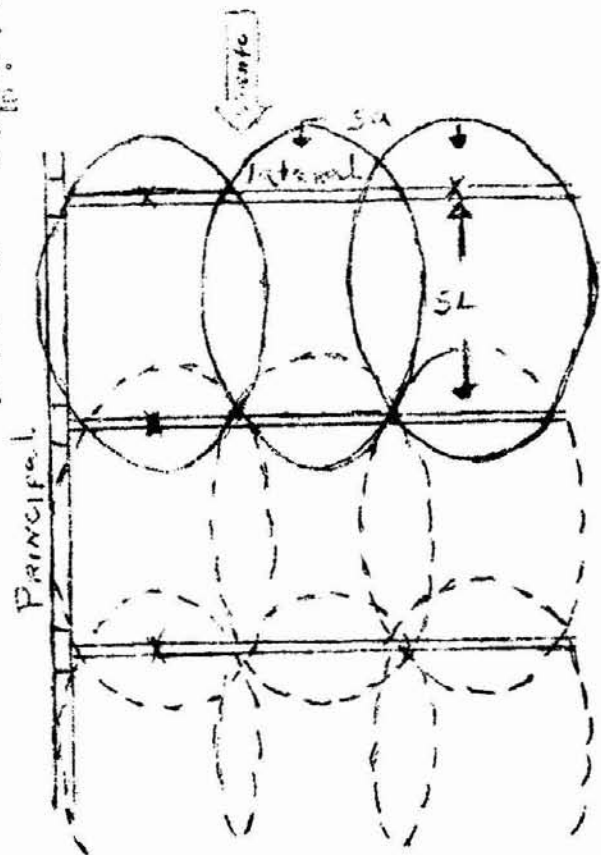
- 6.- Localización de la tubería: El diseñador como es lógico suponer, deberá tratar de distribuir las líneas laterales y principales en forma tal que el sistema opere a una máxima eficiencia y a mínimo costo. En la escogencia de la distribución más adecuada, hay que tomar en cuenta una serie de factores. Cualquiera de éstos, por sí solo, puede indicar una determinada distribución diferente a la que indique otro factor. Dependerá entonces del criterio y experiencia del diseñador sopesarlos y escoger la mejor.

- a.) La fuente de agua: siempre que sea posible, la fuente de agua debe estar ubicada en el centro del campo. De esta forma el circulará menos por las tuberías. Si el campo que se va a regar ya tiene localizada su fuente de agua, la línea principal deberá tratar de trazarse de manera tal que permita una menor longitud de la tubería de aducción.
- b.) Pendiente: este factor es de suma importancia para una buena uniformidad de aplicación. Para ello deben tratar de colocarse los laterales en sentido normal a la máxima pendiente, en forma tal que el primer y último aspersor se encuentren más o menos a la misma altura. Los mencionados ramales podrán ponerse en la dirección de la pendiente, cuando haya ganancia de carga por cambio de elevación. Como los laterales se deberán colocar en el sentido de la mínima pendiente, la tubería principal se dispondrá en el de la máxima.
- c.) Dirección de los vientos predominantes: En los casos de viento fuerte, la mejor eficiencia de distribución en el riego se logra cuando tanto la línea principal como los laterales se disponen a 45° de la dirección predominante de los vientos. Esto a veces no es recomendable en virtud de los otros factores que intervienen para definir el "lay out" mas conveniente. En este caso es preferible colocar los laterales en sentido -

normal a la dirección de los vientos predominantes como - se indica en el dibujo anexo. La razón de esto es que bastaría con acortar la distancia entre aspersores para lograr una buena distribución, - mientras que la alternativa opuesta, esto es, colocarlos en la dirección del viento implica, bien sea franjas de suelo que no se mejoren adecuadamente, o bien la necesidad de tener mas posiciones de laterales, lo cual encarece el diseño y/o - la operación del sistema.

Cuando la distribución del durante el día no sea uniforme, por ejemplo, que haya más en la mañana que en la tarde, es preferible hacer solo un movimiento diario, en lugar de 2 ó 3, - pues así se logra una mejor uniformidad de aplicación.

En general, vientos superiores a 15 ó 20 Km/hora, hacen poco recomendable el riego por aspersión.



- d.) Dimensiones del terreno y frecuencia de riego: Hay que diseñar la colocación de laterales y su espaciamiento en forma tal que - se ajusten lo mejor posible a las dimensiones del terreno y al - intervalo de riego. En general los tendidos de una ronda deben terminarse en un tiempo similar pero menor que el de la frecuencia teórica de riego, de forma que haya un margen de seguridad para no sobrecargar el terreno. Esto es importante especialmente para eventuales dilaciones debidas a reparación y mantenimiento. En forma matemática, el concepto arriba indicado puede expresarse de la siguiente manera:

El número total de posiciones de las líneas laterales debe ser - inferior al número de cambio diarios de laterales multiplicados por la frecuencia de riego. Para los cálculos de espaciamiento entre ramales y entre aspersores, es necesario recordar que las tuberías normalmente en existencia son de 20 pies (a veces hay

de 30'). Por lo tanto los mencionados espaciamientos deberán ser múltiplos de este valor. En los equipos convencionales a mediana presión, los más corrientes son 30', 60' y 40'. Podrá estudiarse la posibilidad de hacer pedidos de tubos de 30', lo cual eventualmente puede economizar mano de obra en el movimiento de los remales.

En nuestro ejemplo, dado:

Campo cuadrado de 400 m. x 400 m. (1320' x 1320') con la fuente en el medio del extremo norte del campo y una pendiente de 1% en el sentido sur-norte. De acuerdo a la localización de la fuente de agua, se podría pensar en tener laterales de 1320' poniendo la línea principal en el extremo norte en el sentido este-oeste, o colocando la línea principal por el medio del campo en el sentido norte-sur y con laterales de 660 pies. En cuanto a las dimensiones del terreno, es indiferente cualquiera de estas dos soluciones, ya que es cuadrado. Igual consideración puede hacerse en lo que respecta a vientos, pues en nuestro caso son de dirección variable.

Hay dos consideraciones favorables a la segunda posibilidad: por un lado la máxima pendiente es en el sentido norte-sur, por lo que los laterales deben ir colocados este a oeste; y por el otro, de que en esta forma los remales son más cortos y, por ende, sus pérdidas de carga por fricción, a un diámetro dado, serán menores.

En general debe haber cierta correspondencia entre los espaciamientos de aspersores y laterales, siendo generalmente el primero igual o algo menor al segundo. Ciertas características de la explotación como puede verse al pie de la tabla No.1, condicionan el tipo de aspersor, el cual a su vez determinará el rango de espaciamiento de aspersores y laterales.

En general la mayoría de los diseños de equipos portátiles corresponden a aspersores y espaciamientos intermedios por ejemplo 60 x 60. Esto puede variar de acuerdo al tipo de explotación, por ejemplo huertos pequeños y viveros requerirán distancias y equipos menores y en diseños para áreas grandes prevalecerá el criterio opuesto. (Ver Tabla No.1).

Para determinar el espaciamiento adecuado entre laterales pueden probarse las alternativas 40 y 60 pies, con 2 movimientos por día. En estos casos el tiempo para cubrir todo el campo será:

$$T = \frac{1320 \text{ pies}}{40 \text{ pies/mov} \times 2 \text{ mov/día}} = 16.5 \text{ días} > 12 \text{ días.}$$

Para S = 40'

TABLA No.1

TIPO DE ASPERSOR	TIPOS DE ASPERSORES SEGUN PRESION EN LBS./PULG.2					L.A. (Angulo Bajo para árboles).
	BAJA (jardin) 5-15	MODERADA 15-30	INTERMEDIA 30-60	ALTA 50-100	MUY ALTA 80-120	
Ø DE TIRO PIES	20-50	50-80	75-120	110-230	200-400	40-90
T.A. MINIMA RECOMENDADA EN CM./h.	1.00	0.5	0.625	1.25	1.65	0.85
CARACTERISTICAS DEL CHORRO BOQUILLA ADECUADAS	GOTAS GRANDES DEBIDO A BAJA PRESION	GOTAS DE TAMAÑO NO REGULAR.	BUENA EN TODO EL DIAMETRO DE TIRO	BUENA EN TODO EL DIAMETRO DE TIRO.	GOTAS MAS BIEN PULVERIZADAS	GOTAS DE TAMAÑO REGULAR
DISTRIBUCION DE HUMEDAD EN EL SUELO ESPACIAMIENTO - PRESION Y BOQUILLA ADECUADA.	REGULAR	REGULAR ALGO BUENA EN EL LIMITE SUPERIOR DE PRESION	MUY BUENA	BUENA EXCEPTO CON VIENTOS DE MAS DE 6Km/H.	ACEPTABLE SIN VIENTO DISTORSIONAN DOSE SEVERAMENTE CON EL VIENTO	BUENA
ADAPTACIONES Y LIMITACIONES	SOLO PARA AREAS PEQUEÑAS Y SUELOS LIVIANOS - CON COBERTURA VEGETAL BUENA Y R.I. 1.25 cm/hora. Jardines, etc.	PRINCIPALMENTE PARA ASPERSION BAJO ARBOLES PEQUEÑOS. Por ejemplo, Café.	PARA TODO TIPO DE CULTIVOS Y SUELOS.	IGUAL AL ANTERIOR EXCEPTO EN EXCESIVO VIENTO	PARA CULTIVOS DE ALTA COBERTURA. SOLO PARA SUELOS DE ALTA R.I.B.	PARA FRUTALES. AVANTAJA A LOS OTROS ASPERSORES CUANDO HAY MUCHO VIENTO O CON BAJA PRESION DISPONIBLE

Luego no sirve, pues dicho tiempo será mayor que la frecuencia de riego.

$$T = \frac{1320 \text{ pies}}{60 \times 2} = 11 \text{ días}$$

Para $S = 60'$

Esto es aceptable según lo explicado en d.) Pág. 9

Otra alternativa sería: 3 movimientos por día y $40'$ de espaciamento así:

$$\frac{1320}{40' \times 3 \text{ Mov./día}} = 11 \text{ días.}$$

Serviría también, pero hay mas facilidad operativa de la mano de obra en el primer caso.

7.- Número requerido de aspersores:

$$N = \frac{\text{distancia total de los laterales en pies}}{\text{espaciamento entre aspersores en pies}}$$

Como el espaciamento entre aspersores deberá ser igual o algo menor - que la distancia entre los laterales, deberá probarse con $60'$ ó $40'$. Para $60'$ se obtiene:

$$N = \frac{1320 \text{ pies}}{60 \text{ pies/asp.}} = 22 \text{ asp.}$$

8.- Galones por minuto por aspersor

$$\text{G.P.M./asp.} = \frac{\text{G.P.M. Total}}{\text{No. Asp.}} = \frac{286 \text{ gpm}}{22 \text{ asp.}} = 13 \text{ gpm/asp.}$$

9.- Selección de los aspersores:

En la selección de los aspersores hay que tomar en cuenta varios factores, como se puede ver en la Tabla No.1; pero los más importantes son: el espaciamento (diámetro de tiro), la presión de trabajo y la tasa de aplicación.

a.) Tasa de aplicación: como ya se mencionó la razón de aplicación ne ta debe ser menor que la de infiltración. Tal tasa de aplicación se puede buscar mediante las fórmulas.

$$\text{I.A. en cm/hr} = \frac{\text{gpm/asp.} \times 244.6}{\text{pies entre lat.} \times \text{pies entre asp.}}$$

$$\text{I.A. en in/hr} = \frac{\text{gpm/asp.} \times 96.3}{\text{pies entre lat.} \times \text{pies entre asp.}}$$

O mediante la Tabla No.2 que no es más que la solución de estas - fórmulas.

TABLA No.2

RAZON DE APLICACION DE AGUA EN CM./hr EN FUNCION DEL
GASTO DE LOS ASPERSORES Y DEL ESPACIAMIENTO.

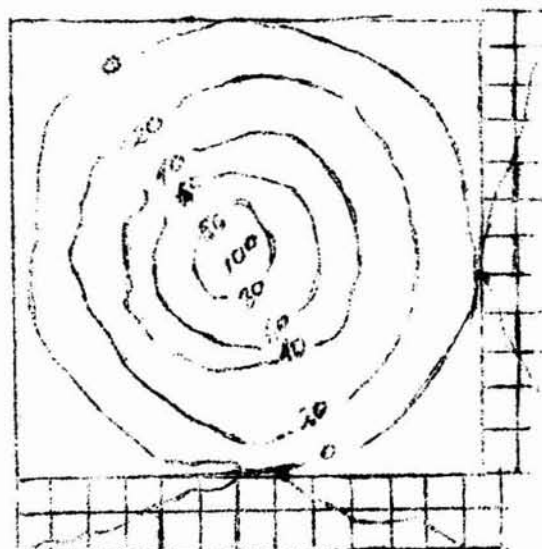
ESPACIAMIENTO EN PIES	RAZON DE APLICACION EN cm./hr.															
	G.P.M. POR ASPERSOR															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	18	20	25	30
20 x 20	0.61	1.22	1.83	2.44	3.05	3.66	4.27	4.88	5.49	6.09	7.31	9.14	10.97	12.18	15.23	18.27
20 x 40	0.30	0.61	0.91	1.22	1.52	1.83	2.13	2.44	2.74	3.05	3.66	4.57	5.49	6.09	7.61	9.14
20 x 60	0.20	0.40	0.61	0.81	1.01	1.22	1.42	1.62	1.83	2.03	2.44	3.04	3.66	4.06	5.07	6.09
40 x 40	0.15	0.30	0.45	0.61	0.76	0.91	1.06	1.22	1.37	1.52	1.83	2.28	2.74	3.05	3.81	4.57
40 x 60		0.20	0.30	0.40	0.50	0.61	0.71	0.81	0.91	1.01	1.22	1.52	1.83	2.03	2.54	3.05
40 x 80		0.15	0.23	0.30	0.38	0.45	0.53	0.61	0.68	0.76	0.91	1.14	1.36	1.52	1.90	2.28
60 x 60			0.20	0.27	0.36	0.40	0.47	0.54	0.60	0.67	0.80	1.00	1.20	1.34	1.48	2.00
60 x 80			0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.51	0.61	0.77	0.92	1.02	1.27	1.53
80 x 80				0.15	0.19	0.23	0.27	0.30	0.34	0.38	0.45	0.57	0.63	0.76	0.95	1.14
80 x 100					0.15	0.18	0.21	0.25	0.28	0.30	0.34	0.46	0.55	0.61	0.76	0.91
100 x 100						0.14	0.17	0.19	0.22	0.24	0.29	0.36	0.45	0.50	0.62	0.75

Si T. A. > E.B. será necesario hacer un nuevo diseño, en el cual se deberá aumentar el tiempo de aplicación. Para ello habrá de seleccionarse un diferente tipo de boquillas y/o aumentar el espaciamiento.

En nuestro ejemplo:

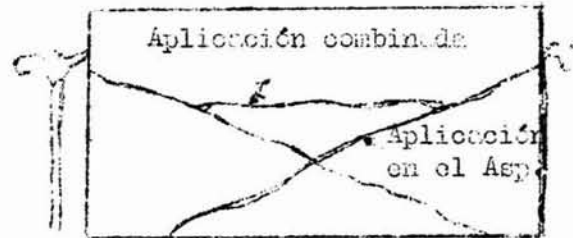
$$R. A. \text{ cm/hr} = \frac{13 \times 244.6}{60 \times 60} = 0.87 < 1.00 \text{ cm/h.}$$

- b.) La presión es importante porque es un factor determinante en los costos de operación. Mientras menor sea éste más bajos serán los gastos de energía. Cualquier boquilla podría operar a baja presión con fines de ahorrar energía, pero esto generalmente implica una mala distribución del riego. Las fábricas manufactureras indican normalmente, la presión óptima de trabajo para cada boquilla. En la selección de los aspersores deberá pues buscarse la que opere más económica y eficientemente.
- c.) Espaciamiento: es necesario hacer esta consideración ya que la razón de aplicación que acabamos de obtener es solo un promedio, pero los aspersores no aplicarán el agua uniformemente, es decir, con una lámina igual en todo su diámetro de tiro, sino que ésta será diferente y tendrá una distribución irregular botando más agua acerca del aspersor y menos en la periferia. Esto obliga a diseñar la distancia entre los aspersores en forma tal que haya cierto cruce entre el tiro de uno y el de aquellos adyacentes, de modo de que resulte una mejor uniformidad de distribución, semejante a la que aquí se dibuja.



a.) Distribución de aplicación típica de un aspersor.

- b.) Distribución de aplicación típica de dos aspersores - cuyo tiro se cruza.



Las determinaciones de campo han demostrado que para obtener un coeficiente de uniformidad adecuado, el % del diámetro de tiro - al cual deben estar espaciados los aspersores, debe disminuir en la medida en que aumenta el viento de acuerdo a la tabla siguiente:

Velocidad del viento en Km/Hr.	Espaciamiento de los aspersores menor que él:
Poco o ningún viento	65% del diámetro de tiro
Hasta 9.5	60 del diámetro de tiro
Hasta 12.5	50 del diámetro de tiro
Sobre 12.5	30-50 del diámetro de tiro.

En nuestro ejemplo los aspersores están espaciados a 60' y hay viento de 6 Km/Hr., luego el diámetro de tiro (dt) debe ser:

$$dt \geq \frac{60}{0.60} \geq 100'$$

Una vez obtenido la razón de aplicación por aspersor en G.P.H. y el diámetro de tiro, se entra en las tablas de aspersores para ver cuál de ellos pueden seleccionarse.

$$G.P.H./asp. = 13, dt \geq 100'$$

Pueden servir los siguientes tipos:

Modelo	Boquilla	d. pies	Presión de Trabajo Lbs/Pulg. ²
30	13/64x1/8-20°	105	60
30	7/32x1/8-20°	105	47,5
40B	7/32x1/8-20°	109	47,5
40BW	1/4	116	52
40EW	9/32	107	34

Los dos últimos pueden no encontrarse en el mercado, además, el de boquilla 9/32 produce muy mala uniformidad y el de 1/4, debe trabajar a presión relativamente alta. El 40B es algo mejor pero también es difícil conseguirlo. Tenemos que escoger el aspersor modelo 30 y se debe seleccionar la segunda boquilla (7/32 x 1/8-20°) pues - trabaja a solo 47.5 lbs/pulg.². Esta presión deberá ser la de trabajo del último aspersor, de modo de tener garantizada la salida de 13 g.p.m.

TUBERIAS

Las tuberías son normalmente de aluminio, el cual es fácilmente transportable debido a su poco peso; sin embargo, pueden usarse otras de diversos materiales, tales como: acero, que tienen la ventaja de ser más duraderas y estar protegidas contra la corrosión, pero son más caras y pesadas; de plástico (P.V.C.) que son bastante livianas y que compiten en precio y de asbesto-cemento. En algunos casos se emplean también mangueras de caucho reforzadas.

Procedimientos de diseño de tuberías:

El diseño puede hacerse, para que las tuberías, tanto principales como laterales, trabajen de acuerdo a su movimiento, como portátiles, semipermanentes o permanentes. Sin embargo, usualmente se diseña para que los laterales pertenezcan al primer tipo, de modo de comprar menos tubos y reducir el costo del equipo, y las principales, a los tipos permanentes o semipermanentes, de manera de utilizar menos mano de obra. Recientemente, en países con alto costo de la mano de obra y a fin de minimizar este, se ha incorporado diseños de equipos sólidos donde incluso los laterales son permanentes. Así mismo hay en mercado varios tipos autopropulsados. Estos son de tres clases principales: (1) de pivote central (2) "Pistolas Viajeras" que constan básicamente de un carro con pistola halado de una guaya enrollable por acción del agua y el - Big Squirt ó pistola gigante autopropulsada.

La consideración más importante en el diseño de cualquier sistema de tuberías es la pérdida de carga por fricción. El problema en el diseño que se nos presenta aquí es el de seleccionar el diámetro de las tuberías y sus accesorios que den un balance positivo entre los costos de estos y los de bombeo, de modo que se obtenga a fin de cuentas el menor gasto posible de aplicación de agua con una máxima uniformidad.

Diseño de los laterales:

Los laterales deben diseñarse de tal manera que las pérdidas de carga totales en ellas no excedan el 20% de la presión de trabajo de los aspersores, asegurando así, que las descargas entre el primer y último aspersor de una línea - no variarán entre sí más de un 10%. Las pérdidas de carga por fricción en un lateral son menores que las de una tubería principal de igual diámetro. Esto se debe a que el flujo por la tubería lateral se va reduciendo en la medida - en que el agua se mueve por la misma.

Los ramales laterales generalmente se diseñan de un solo diámetro; de esta - suerte, el equipo es más uniforme y ellos pueden entonces intercambiarse sin dificultad. Hay varias formas de determinar las pérdidas de carga en tuberías. La más clásica sería mediante empleo de fórmulas hidráulicas conocidas, tales como: la de Scobey, en la que:

$$H_f = \frac{K_s L V^{1.9}}{1000 D^{1.1}}$$

donde:

K_s = coeficiente de Scobey

L = longitud de la tubería en pies

V = velocidad del agua en pies/seg.

D = diámetro de la tubería en pies.

la cual está desarrollada en la Tabla No.3, o la de Hazen-Williams, en la que:

$$H_f = 4.75 \frac{Q^{1.851}}{C_{hw}^{1.851} D^{4.869}}$$

donde:

C_{hw} coeficiente de Hazen-Williams = 120 en tub. de aluminio

Q = gastos en pies³/seg.

D = diámetro de la tubería en pies.

Véase Tabla No.4 Pero en el empleo de cualquiera de estas fórmulas hay que tomar en cuenta la reducción del flujo a medida que avanza a lo largo del tubo o

TABLA No.3

PERDIDA DE CARGA POR FRICCION EN TUBERIAS DE ALUMINIO CON
ACOPLES BASADA EN LA FORMULA DE SCOBEEY USANDO $K_s = 0.40$

GASTO EN gpm	PERDIDA DE CARGA EN LIBRAS POR PULGADA CUADRADA POR 100 PIES DE TUBERIA									
	DIAMETRO DE LA TUBERIA EN PULGADAS									
	2	3	4	5	6	7	8	10	12	
10	0.14	0.02								
20	1.52	0.07								
30	1.06	0.15								
40	1.80	0.25								
50	2.90	0.39								
60	3.72	0.52	0.13							
70	4.77	0.69	0.17							
80		0.91	0.22							
90		1.08	0.27	0.09						
100		1.39	0.35	0.12						
120		2.08	0.52	0.17						
140		2.60	0.64	0.22						
160		3.38	0.85	0.29	0.12					
180		4.07	1.00	0.36	0.15					
200		5.11	1.30	0.44	0.18					
220			1.52	0.52	0.21					
240			1.77	0.61	0.25					
260			2.12	0.71	0.29					
280			2.51	0.84	0.35					
300			2.86	0.97	0.40	0.13				
350			3.68	1.21	0.52	0.25	0.12			
400			4.42	1.60	0.61	0.31	0.16			
450				1.93	0.79	0.37	0.19	0.07		
500				2.25	0.95	0.43	0.24	0.08		
550				2.64	1.03	0.52	0.27	0.09		
600				3.29	1.38	0.64	0.34	0.11		
650				3.89	1.53	0.73	0.39	0.12	0.05	
700				4.55	1.79	0.82	0.45	0.15	0.06	
750					1.99	0.93	0.49	0.17	0.07	
800					2.29	1.04	0.55	0.18	0.08	
850					2.51	1.17	0.61	0.20	0.09	
900					2.81	1.32	0.63	0.23	0.10	
950					3.14	1.45	0.76	0.25	0.11	
1000					3.44	1.60	0.82	0.28	0.12	
1200					4.98	2.34	1.17	0.41	0.17	
1400						3.16	1.64	0.54	0.23	
1600						4.02	2.12	0.69	0.29	
1800						4.76	2.60	0.87	0.36	
2000							3.16	1.02	0.43	

TABLA No. 4

PERDIDA DE CARGA POR FRICCION EN TUBERIAS DE ALUMINIO CON ACOPLLES
BASADA EN LA FORMULA DE HAZEN-WILLIAMS USANDO $C_{hw}=140$, EXPRESADA EN %

Q gpm	3"	4"	5"	6"	7"	8"	10"
10	0.042	0.010	0.003	0.001			
20	0.151	0.036	0.012	0.005			
30	0.315	0.075	0.025	0.010			
40	0.532	0.127	0.043	0.017			
50	0.819	0.196	0.066	0.027	0.013		
75	0.713	0.411	0.139	0.056	0.026		
100	2.942	0.704	0.237	0.096	0.045		
125	4.449	1.065	0.359	0.145	0.068		
150	6.214	1.487	0.501	0.203	0.096	0.049	
175	8.238	1.972	0.665	0.269	0.127	0.066	
200	10.592	2.535	0.855	0.346	0.163	0.084	0.029
250	16.006	3.831	1.292	0.523	0.246	0.127	0.044
300	22.403	5.363	1.808	0.732	0.345	0.178	0.061
350	29.799	7.132	2.405	0.973	0.450	0.237	0.081
400	38.202	9.143	3.083	1.243	0.568	0.304	0.104
450		11.371	3.834	1.552	0.731	0.378	0.129
500		13.802	4.654	1.882	0.987	0.459	0.157
600		19.323	6.515	2.637	1.242	0.642	0.219
700		25.734	8.676	3.512	1.654	0.855	0.292
800			11.111	4.498	2.118	1.095	0.374
900			13.790	5.582	2.628	1.359	0.464
1000			16.810	6.804	3.204	1.656	0.566
1200			23.477	9.503	4.475	2.313	0.791
1400			31.302	12.671	5.966	3.084	1.054
1600			40.077	16.223	7.639	3.949	1.350
1800			49.954	20.221	9.522	4.922	1.683
2000			60.591	24.526	11.549	5.970	2.041

en otras palabras habría que hacer el cálculo por trechos de tubería y gasto variable.

Esta última consideración, como se pueda ver, hace demasiado largo y laborioso el cálculo; por lo que el Dr. J. E. Christiansen desarrolló un método, que consiste en determinar las pérdidas de carga por fricción mediante una de las fórmulas arriba mencionadas, considerando la tubería sin salidas de agua, es decir, que desde el comienzo hasta el final de la tubería el gasto es el mismo y, luego multiplicando la pérdida de carga resultante por un factor de corrección, para gasto variable, obtenida mediante una fórmula empírica que, al desarrollarse, da los valores que se exponen en la Tabla No.5.

Continuando el cálculo del ejemplo, y siguiendo el procedimiento de Christiansen, se tiene:

$$Q = 143 \text{ gpm/lateral}, \quad L_{\text{lat}} = 660', \quad P. \text{ asp. } 47.5 \text{ lbs/pulg}^2.$$

$$N^{\circ} \text{ asp./lat.} = 11$$

$$H_1 = 0.20 \times 47.5 = 9.50 \text{ lbs/pulg}^2.$$

4" ϕ

$$H_f = 0.64 + \frac{3}{20} (0.21) = 0.67 \text{ lbs/pulg}^2/100'$$

$$H_1 = 6.6 \times 0.67 \times 0.380 = 1.68 \text{ lbs/pulg}^2.$$

3" ϕ

$$H_f = 2.60 + \frac{3}{20} (0.76) = 2.71 \text{ lbs/pulg}^2/100'$$

$$H_1 = 6.6 \times 2.71 \times 0.380 = 6.80 \text{ lbs/pulg}^2 = 9.5 \text{ lbs/pulg}^2.$$

Se escogerán entonces los laterales de 3 pulgadas, porque fácilmente se puede ver que las pérdidas de carga en tuberías de 2" sobrepasan 9.5 lbs/pulg².

DISEÑO DE LA TUBERÍA PRINCIPAL

La función de la tubería principal es llevar el agua hasta los laterales. Como ya es expuesto, el factor más importante en el diseño es la pérdida de carga por fricción. Sería posible establecer de una manera exacta el diámetro económico de tuberías, es decir aquel que dé el balance más positivo en los costos de bombeo y costo inicial. A esto respecto hay varios procedimientos en los que mediante abacos y nomogramas se determina la alternativa más económica para un determinado interés sobre el capital y vida útil de la tubería, cuando se conocen los costos de energía y de los tubos. Sin embargo, pocas veces es necesario tal precisión y en general, la práctica ha demostrado que dicho diámetro corresponde a aquel cuyas pérdidas por fricción estén entre los 10 y 40 pies. Se acerca más al primer valor cuando la tubería es corta, de precio bajo y la energía cara, y más al último, cuando las condiciones son opuestas. En fincas de pequeña superficie es corriente usar una pérdida permisible de 10 lbs/pulg² o sea 23 pies.

TABLA No. 5

FACTOR DE CHRISTIANSEN POR EL CUAL HAY QUE MULTIPLICAR H_1 EN
TUBERIAS PARA OBTENER H_1 EN LAS LINEAS LATERALES CON ASPERSORES.

<u>Nc. De Aspersores</u>	<u>F</u>
1	1.000
2	0.625
3	0.518
4	0.469
5	0.440
6	0.421
7	0.408
8	0.398
9	0.391
10	0.385
11	0.380
12	0.376
13	0.373
14	0.370
15	0.367
16	0.365
17	0.363
18	0.361
19	0.360
20	0.359
22	0.357
24	0.355
26	0.353
28	0.351
30	0.350
35	0.347
40	0.345
50	0.343
100	0.338
+ de 100	0.333

La pérdida de carga por fricción se puede encontrar mediante fórmulas, ábacos y tablas. Las Tablas 3 y 4 anexas pueden emplearse en este caso sin multiplicar por el factor de Christiansen.

Hay diferentes tipos de diseño de la tubería principal, según los laterales. Estos tipos de diseño son:

- 1.- Cuando hay un solo lateral.
- 2.- Cuando hay dos laterales.
- 3.- Cuando hay laterales múltiples en rotación.

1.- Con un solo lateral: En este caso toda el agua que pasa por la toma al lateral a una misma altura, por lo que el diámetro de la tubería principal puede seleccionarse de las tablas 3 y 4, siendo el ϕ adecuado aquel cuya pérdida de carga por fricción esté más cercana al límite permisible sin excederlo, cuando el lateral está operando en la parte más alejada a la fuente de agua.

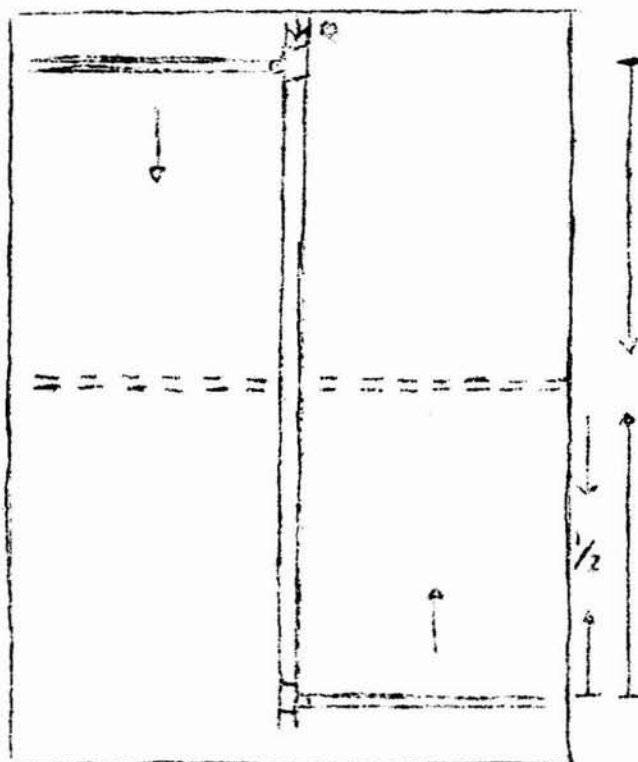
2.- Diseño con dos laterales: Esto realmente quiere decir, una línea principal que atraviesa el campo a partir de la cual salen dos ramales. En este tipo de diseño pueden ocurrir dos casos:

- a.) Que los laterales tomen el agua a la misma altura, es decir, que se vayan moviendo ambos en la misma dirección. En tal caso el cálculo del diámetro adecuado se hace exactamente igual que en 1. Esto es poco frecuente y una alternativa menos económica.
- b.) Que cuando un lateral esté en un extremo del campo, el otro se encuentra en el opuesto. Estos, cada uno por su lado, se van moviendo a medida de que se suceden los riegos, en forma tal que uno se va cambiando en una dirección y el otro en la contraria. En este caso ocurre casi siempre, la mitad del agua se toma en el primer lateral y la otra mitad continúa por la tubería principal hasta llegar al otro lateral.

Es evidente que las condiciones extremas de operación serán:

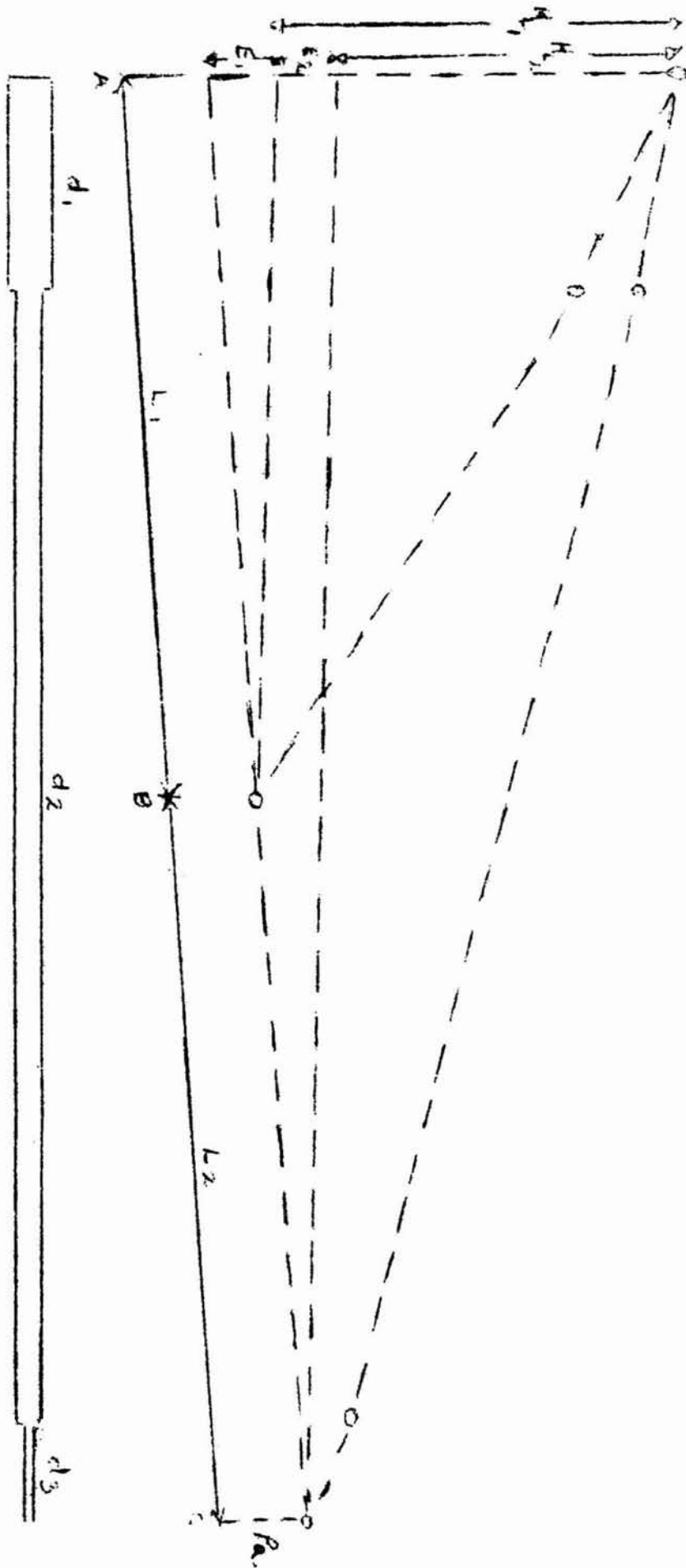
- a.) Cuando los dos laterales se encuentran en el medio del campo y, por lo tanto, el agua pasará por una longitud de tubería principal igual a $L/2$ y un gasto total de Q ; y
- b.) Cuando un lateral esté operando en el punto más alejado y el otro en el más cercano. Por lo tanto, el agua deberá pasar a lo largo de toda la tubería (L) con un gasto de $Q/2$. En este caso el procedimiento más sencillo que debe seguirse para determinar el diámetro adecuado del principal es el de calcular la pérdida de carga por fricción para varios diámetros, primero asumiendo un caudal Q y una longitud $L/2$ y, luego un gasto $Q/2$ y una longitud $-L-$. *

Ver gráfico en pag. 23



El método de diseño más sencillo consiste en determinar para toda la principal un solo diámetro. A tal fin se escoge aquel en el que la pérdida de carga por fricción máxima obtenida en ambos casos, esté lo más cerca posible a la pérdida de carga por fricción admisible, sin excederla. Hay un procedimiento algo más complicado pero tienen por objeto el de que el costo inicial sea lo más bajo posible, sin que esto signifique, por supuesto, que estemos dejando aparte los costos de bombeo. Este método consiste en diseñar la línea principal con tuberías que vayan paulatinamente decreciendo en diámetro en forma tal que se aproveche completamente la pérdida de carga permisible. La distribución de las tuberías consiste, como en el caso 2.b), anteriormente explicado, en dos laterales que se rotan alrededor de la línea principal. La figura anexa ilustra el problema del diseño de la tubería principal*. En este caso, como ocurrió en el anteriormente explicado, en una oportunidad toda la cantidad de agua Q deberá ser llevada a la distancia $L/2$ (de A hasta B) y no habrá flujo más allá de B. En los demás casos el gasto pasará de B, sin exceder generalmente un valor mayor de $Q/2$. Cuando un lateral esté operando en C requiriendo un flujo de $Q/2$, el otro estará en A y, por lo tanto, pasará un gasto $Q/2$ a lo largo de toda la tubería. La mejor forma de estudiar este método es mediante un ejemplo. Para el que hemos venido estudiando tenemos:

Ver figura en Pag. 24



$$Q = 286 \text{ gpm}, \quad L = 1320' = L_1 + L_2$$

$$L_1 = \overline{AB} = 660' \quad L_2 = \overline{BC} = 660' \quad S = 1/8, \text{ luego:}$$

$$E_1 = E_2 = 1 \times \frac{660}{100} = 6,6' = 2,83 \text{ lbs/pulg}^2.$$

$$h_1 \text{ permisible} = 10 \frac{\text{lbs.}}{\text{pulg}^2} + \text{el cambio de elevación.}$$

En la figura anexa vemos que:

$$H_{L_1} = H_{L_2} + E_2 = 10 + 2.83 \text{ lbs/pulg}^2.$$

Primer caso: Vemos primero el caso extremo en que ambos laterales estén operando en el medio del Campo (en B).

Pérdida de carga promedio por unidad de longitud

$$Hf_1 = \frac{HL_1}{L_1} = \frac{12.83}{660} = 0.019 \text{ lbs/pulg}^2.$$

En la Tabla No.3 vemos que las pérdidas de carga por unidad de longitud para tuberías de diferentes diámetros son:

$$\phi 4 = 0.026$$

$$\phi 5 = 0.009$$

Entonces, siendo X la longitud de la tubería de 5 pulgadas debemos establecer la siguiente ecuación de pérdidas de carga y longitudes:

$$0.026 (660 - x) + 0.009 x = 12.83$$

$$0.009 x - 0.026 x = 12.83 - 17.6$$

$$x = \frac{4.33}{0.017} = 254'$$

o sea que podemos usar 260 pies de tuberías de 5" y $660 - 260 = 400'$ de tubería de 4" .

Segundo Caso: Laterales operando en los extremos del campo (uno en A y el otro en C).

$$Q = \frac{QT}{2} = \frac{286 \text{ gpm.}}{2} = 143 \text{ gpm.}$$

$$H_{L_2} = 10 \text{ lbs/pulg}^2.$$

De la Tabla No. 3 vemos que las pérdidas de carga por unidad de longitud para tuberías de diferentes diámetros son:

$$\phi 5'' = 0.0022 + \frac{3}{20} (0.0007) = 0.0023$$

$$\phi 4'' = 0.0064 + \frac{3}{20} (0.0021) = 0.0067$$

$$\phi 3'' = 0.026 + \frac{3}{28} (0.008) = 0.0272$$

Llamando "Y" la longitud de la tubería de 3 pulgadas podemos establecer la ecuación:

$$260 (0.0023) + 400 (0.0067) + (660-Y) (0.0067) + Y (0.0272) = 10$$

de donde:

$$Y = \frac{230}{0.0205} = 112'$$

O sea, para más seguridad 100 pies de $\phi 3''$

La tubería de 4" después de B será igual a:

$$660' - 100' = 560'$$

Por lo tanto la tubería principal estará compuesta de la siguiente manera:

260' de $\phi 5''$

960' de $\phi 4''$

100' de $\phi 3''$

Tercer Caso: Diseño de laterales múltiples en rotación: El diseño de laterales múltiples en rotación se basa en el mismo principio aquí expuesto con la diferencia de que en lugar de ser dos ramales, son más y por lo tanto, el cálculo de diámetros de tuberías principal se hace más complicado; así que escapa al objetivo de estos apuntes.

ESCOGENCIA DE LA BOMBA

Las bombas utilizadas en los sistemas de riego por aspersión son generalmente del tipo centrífugo pues éstas se caracterizan por producir la alta carga de presión, requerida para el buen funcionamiento de los aspersores.

La escogencia de las bombas se debe hacer conociendo el gasto de agua necesario y la carga dinámica total. Esta última se averigua sumando todas las car

gas parciales, a saber: carga de succión o distancia vertical entre la fuente de abastecimiento y la bomba (H_s), pérdida de carga por fricción en la tubería principal (H_L), pérdida de carga por fricción de los laterales, (H_l), diferencia de elevación entre la bomba y el sitio de descarga más elevado (H_e), altura de los aspersores sobre el nivel del suelo (H_a), presión de trabajo requerida por los aspersores (P_a) y pérdidas de carga menores producidas en codos, tees, reducciones, acoplamientos, etc. (H_m).

$$H_T = H_s + H_L + H_l + H_e + H_a + P_a + H_m$$

En nuestro ejemplo tenemos entonces:

$H_s = 1 \text{ m.} =$	3.3'	1
$H_L = 10 \text{ lbs/pulg}^2$	23.1'	2
$H_l = 6.8 \text{ lbs/pulg}^2$	15.7'	4.8
$H_e = 1 \times 1320 \text{ pies.}$	13.2'	4
$H_a = 2'$	2.0'	6.6
$P_a = 47.5 \text{ lbs/pulg}^2$	109.7'	33.5
SubTotal:	167.0'	

B.2.2

H_m estimado como el

5% del subtotal 8.4'

Ht = 175.48'

Una vez conocidos estos dos datos, se podrá escoger la bomba que, a estas condiciones, trabaje con mayor eficiencia.

La potencia se puede calcular mediante la fórmula:

$$P = \frac{Q \text{ (en gpm)} \times H_t \text{ (en pies)}}{3960 \times \text{Ef.}} \text{ para unidades inglesas.}$$

$$P = \frac{Q \text{ (en lps)} \times H_t \text{ (en m.)}}{76 \times \text{Ef.}} \text{ para unidades métricas.}$$

Tal caballaje es el neto teórico (W.H.P.) y habrá de dividirse por la eficiencia para obtener el BHP. Si en nuestro ejemplo se estima una eficiencia de la bomba del 70% tenemos:

$$P = \frac{286 \times 175.4}{3960 \times 0.7} = 18 \text{ HP}$$

Este será el caballaje de diseño si el equipo es eléctrico y por lo tanto a

aceleración constante. El motor de dicha bomba deberá ser de mayor caballaje a fin de que trabaje con un margen de seguridad. En los equipos de combustible conviene que la bomba no trabaje sobrecargada y por ello deberá comprarse una mayor. Si se estima que su condición normal de trabajo va a ser a 70% de la aceleración máxima, deberá adquirirse una capacidad aproximada de:

$$P = \frac{18 \text{ HP}}{0.70} = 26 \text{ HP.}$$