

*Handwritten signature*

INSTITUTO COLOMBIANO ACROPECUARIO  
SUBGERENCIA DE INVESTIGACION  
DIVISION DE INGENIERIA AGRICOLA  
PROGRAMA DE RECURSOS DE AGUA Y TIERRA

CURSO DE RIEGO Y DRENAJE

RIEGO POR ASPERSION

POR: J. ANTONIO FORERO S.

//

Tibaitatá, Mayo de 1977

1928

## RIEGO POR ASPERSION

Por: José Antonio Forero S.\*

### INTRODUCCION

En regiones donde la cantidad de precipitación es insuficiente o su distribución es pobre, el riego se convierte en una herramienta de vital importancia para los cultivos por cuanto proporciona a éstos el nivel de humedad requerido para su óptima producción.

Por otra parte, nos encontramos frente al fenómeno de una población creciente que necesita expandir su economía y dentro de ésta, la agricultura juega un papel importante. En áreas donde tanto el agua como el alimento son de escaso abastecimiento, la explotación agrícola reclama el uso más eficiente posible del agua para poder obtener el máximo de producción.

---

\* I.A., M.S. Director Programa de Desarrollo de Recursos de Agua y Tierra.- ICA - Tibaitatá.

Uno de los métodos de riego ampliamente conocido, es el de riego por aspersión, que consiste en la aplicación de agua sobre la superficie del suelo en forma algo semejante a una lluvia ordinaria. Este método de riego tuvo sus comienzos hacia el año 1900. En un principio se utilizó para el riego de prados en zonas urbanas y posteriormente, hasta 1920, se extendió su uso a viveros y huertos.

Se inició luego su uso en regiones de cierto grado de precipitación, como un método suplementario de riego. Los primeros sistemas consistieron en tuberías perforadas estacionarias, ó eran sistemas estacionarios para dotar riego por sobre los árboles, mediante aspersores rotantes. Desde luego estos sistemas tenían una alta inversión inicial, pero eran de fácil manejo. En la década de los años 30 se desarrollaron los primeros sistemas portátiles, utilizando tubería de hierro de peso liviano y provista de acoplamientos rápidos. Esta modalidad disminuyó los costos iniciales notoriamente y trajo como consecuencia un incremento en el número de sistemas de aspersión instalados. Las primeras etapas de desarrollo del riego por aspersión ocurrieron principalmente en el Valle de Sacramento, California, y luego se extendió su uso a otras regiones de los E.U. y del mundo.

Después de la segunda guerra mundial, se ha incrementado rápidamente el número de instalaciones de aspersión en todo el mundo, debido primordialmente a la introducción de tuberías más livianas como las de aluminio, al diseño de aspersores más eficientes, a mejoras en la eficiencia de bombas y al aumento de las disponibilidades de energía eléctrica, o de combustible para motores de combustión interna.

En Colombia, no se ha intensificado su uso debido principalmente al temor que despierta su elevada inversión inicial y a que se cuenta en el país con disponibilidad de mano de obra a bajo costo, que se piensa puede emplearse en sistemas de riego por gravedad. Sin embargo, existen algunos sistemas de aspersión en operación en algunas regiones del país, principalmente en algunas áreas de la Costa Atlántica, del Valle del Cauca y de la Sabana de Bogotá.

El presente curso pretende ofrecer una breve introducción al riego por aspersión, de manera que los participantes puedan tener una visión generalizada de las ventajas que el método presenta, para así poder definir su aplicabilidad en la explotación agropecuaria. No se ha planeado el curso con el ánimo de ofrecer una especialización, pero sí de proporcionar el refrescamiento de algunos conceptos importantes

sobre el tema. Se espera que los tópicos que aquí se esbozan, contribuyan positivamente a puntualizar la necesidad de estudios y diseños previos a la inversión, de manera que el empresario agrícola pueda contar con la garantía de que los costos que le demanda un sistema de riego de esta naturaleza, van a repercutir en una optimización de la productividad de su predio.

## FACTORES QUE AFECTAN EL EMPLEO DEL RIEGO POR

### ASPERSION

Algunas condiciones que favorecen el empleo del riego por aspersión pueden resumirse en:

- Textura del suelo: entre más gruesa sea la textura de un suelo es más conveniente el empleo del riego por aspersión.
- Suelos de elevadas pendientes y fácilmente erodables.
- Suelos poco profundos cuya topografía limita una adecuada nivelación para el empleo de métodos de riego por superficie.
- Suelos profundos pero de topografía muy ondulada cuya nivelación para fines de riego por superficie, resulta demasiado costosa.
- Abastecimientos de agua muy pequeños para ser empleados en riego superficial.
- Falta de experiencia en la mano de obra disponible para el riego por superficie.
- Areas donde son frecuentes las pérdidas de producción por heladas.
- Areas donde se presentan períodos de altas temperaturas

que pueden afectar fisiológicamente los cultivos.

- Cultivos de poca profundidad radicular y que exijan riegos ligeros y frecuentes.
- Areas que requieran entrar en adecuada producción en una forma rápida. El riego por aspersión puede ser diseñado e instalado rápidamente.

Algunos de los factores limitantes en el empleo del riego por aspersión son:

- Vientos fuertes: la ocurrencia de vientos fuertes y de altas duración y frecuencia, inciden en una pobre distribución de la precipitación cuando se emplea el riego por aspersión.
- Altura de la parte aérea de los cultivos. Por ejemplo el maíz y la caña de azúcar, cuyo crecimiento es relativamente alto, requieren de sistemas de aspersión provistos de tuberías verticales altas y el traslado de líneas laterales resulta difícil y enojoso de efectuar.
- Costos. El riego por aspersión exige una elevada inversión inicial y en la mayoría de los casos, costos adicionales importantes en cuanto se refiere a opera-

ción y mantenimiento de los sistemas.

- Problemas mecánicos. Los aspersores pueden dejar de girar, las boquillas se pueden obstruir, se pueden presentar fugas en los acoplamientos y los motores y las bombas exigen cuidados.
- El riego por aspersión puede facilitar la propagación de algunas enfermedades hidrófilas (transportadas por el agua).

Cuando se comparan el riego por superficie y por aspersión, deben tenerse en cuenta algunas condiciones adicionales.

Con el riego por aspersión una mayor área del predio se utiliza en producción. Por otra parte, la eficiencia de aplicación del agua es mayor con el riego por aspersión. Esto implica que en regiones donde el agua es un factor limitante, se puede involucrar una mayor área a la producción bajo riego. Finalmente, en áreas donde el agua puede llegar al predio bajo presión debida a gravedad, el riego por aspersión resulta ventajoso.

## COMPONENTES DE UN EQUIPO DE RIEGO POR ASPERSION

### Motobomba

Puesto que los aspersores deben operar a una presión óptima que garantice una adecuada uniformidad de distribución del agua, y siendo que se presentan pérdidas de presión a lo largo de la conducción, el equipo de bombeo debe seleccionarse en forma tal, que permita una normal operación del sistema.

Para riego por aspersión se utilizan normalmente bombas centrífugas o bombas turbina para pozos profundos, según el caso. El motor puede ser de combustión interna o eléctrico, de acuerdo con la fuente y cantidad de energía disponible en el lugar de operación.

Las motobombas pueden ser fijas o portátiles. Son fijas cuando se toma agua de un abastecimiento subsuperficial o de una estación de bombeo de un abastecimiento superficial. Las unidades portátiles van montadas sobre ruedas metálicas o neumáticas, o sobre patines. Existen también unidades portátiles que pueden acoplarse al tomafuerza de un tractor.

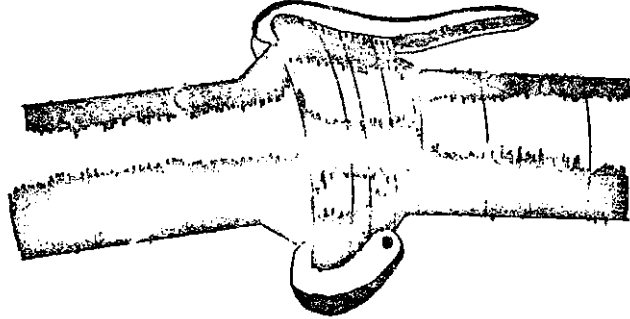
## Tuberías

Se distinguen dos tipos de líneas de tuberías: la línea principal y las líneas laterales. La principal cumple solamente la función de conducción, en tanto que las líneas laterales tienen además la función de distribución, por medio de los aspersores.

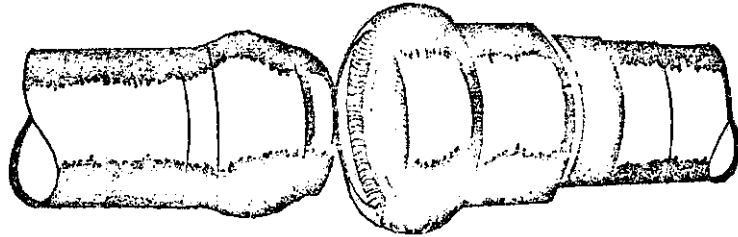
La línea principal puede ser de hierro, de aluminio, de asbesto cemento, de concreto reforzado con junta especial, ó de plástico. Esta tubería puede ser fija, en cuyo caso debe ir enterrada; semifija, parte fija y parte móvil y puede también ser completamente móvil. Las móviles son generalmente de aluminio y las fijas puede ser de hierro, asbesto-cemento, de concreto reforzado con junta especial, o de plástico.

Las tuberías de aluminio se consiguen comercialmente en tramos de 9 metros (30 pies) y de 6 metros (20 pies). Están provistas de acoplamientos rápidos y angulables, de 12° y 30°, lo cual permite adaptar la tubería a cierto grado de irregularidades que pueda presentar el terreno.

Se emplean en general dos tipos de acoplamientos : uno de enganche, y otro de presión. (Figura 1).



a: Acoplamiento de Enganche.



b: Acoplamiento de Presión con Resorte.

FIG. N.º 1 - TIPOS DE ACOPLAMIENTOS EN TUBERIAS. TOMADO DE W. R. Ames Company.

## Aspersores

Los principales tipos de aspersores son los siguientes:

1. Aspersores de giro lento. Son de uso extensivo en la agricultura y su combinación de presión y lenta rotación, permite que el chorro de agua sea lanzado a considerable distancia. En general, el giro lento se produce por medio de golpes suaves y rítmicos que el chorro de agua imprime a un brazo de palanca provisto de un deflector cóncavo en su extremo y que por oscilación, entra y sale de la trayectoria del chorro. Así mismo, mediante un resorte, o por gravedad, se produce un pequeño giro en el aspersor. Los aspersores gigantes y de alta presión están provistos de un mecanismo de engranajes accionados por el agua. Estos aspersores así accionados, pueden regar un círculo parcial o un círculo completo.
2. Aspersores de giro por reacción. En estos aspersores la boquilla está de tal forma orientada que la acción del chorro los hace girar. Pueden utilizarse para regar bajo árboles, por cuanto la superficie cubierta es pequeña, debido precisamente a su propiedad de giro rápido.

3. Tuberías Perforadas. Las perforaciones consisten en una serie de pequeños orificios en el costado superior de la tubería, lo cual permite que se consiga un área cubierta de forma rectangular. Sus problemas principales son:
- a) Una elevada lámina
  - b) Los chorrillos son fácilmente distorsionados por acción de los vientos.
  - c) Por su baja presión de operación, la uniformidad de distribución se puede ver muy afectada cuando los terrenos no son planos.
  - d) Los orificios son de fácil obstrucción.
4. Aspersores de boquilla fija. Son ampliamente usados en el riego de prados y jardines. Estos aspersores son de elevadas tasas de aplicación, de pequeño diámetro mojado y de pobre uniformidad de distribución.

#### Accesorios

Dentro de los accesorios se pueden citar los codos, las uniones, las reducciones, las válvulas, la manguera de succión con su poma, las curvas etc.

## SISTEMAS DE ASPERSION

### Sistemas Portátiles

En estos sistemas tanto la tubería principal como los ramales laterales son completamente portátiles mediante desplazamiento manual. La bomba puede también ser portátil, dependiendo de cada caso en particular.

### Sistemas Semiportátiles

En los sistemas semiportátiles la línea principal va enterrada y está provista de tubos verticales con registros, un codo y acoplamiento rápido. Estos tubos verticales deben espaciarse convenientemente de acuerdo con las condiciones de diseño y operación del sistema.

Las líneas laterales son completamente portátiles y el equipo de bombeo es de ordinario fijo.

### Sistemas permanentes

En los sistemas permanentes las líneas laterales y la línea principal van enterradas y el equipo de bombeo es fijo. En estos sistemas los tubos verticales y los aspersores se convierten en obstáculos para las labores culturales de los cul-

tivos. Se establecen principalmente estos sistemas, en huertos, viñedos y pastizales.

#### Laterales sobre ruedas

Existen en general 3 modalidades de tuberías laterales montadas sobre ruedas: de desplazamiento transversal, de desplazamiento longitudinal y de desplazamiento circular.

Las unidades de desplazamiento transversal utilizan tuberías de aluminio de alta resistencia con acoplamientos rígidos, excepto en los extremos. La línea de tubería está montada sobre ruedas metálicas cuyo diámetro oscila entre 1.5 y 2.5 metros, espaciadas entre 9 y 12 metros. El lateral se traslada a su próxima posición paralela, luego de cerrado el registro y de desconectarse de la línea principal. Este traslado se efectúa mediante un dispositivo manual de palanca o muy usualmente mediante la puesta en marcha de un pequeño motor de combustión interna que acciona las ruedas para el desplazamiento de la línea. Este sistema se adapta bien en predios rectangulares cuyos suelos tengan cierto grado de compactación y estabilidad, que impida el hundimiento de las ruedas.

Los laterales de desplazamiento longitudinal están montados

sobre pares de ruedas metálicas pequeñas que van a un lado y otro de la línea. También pueden ir montadas sobre patines. El desplazamiento, luego del cerrado del registro y de desconexión de la línea lateral, se efectúa por medio de un tractor que hala la línea de su extremo de entrada y la coloca al lado opuesto de la línea principal, conservando el mismo alineamiento, pero quedando los extremos invertidos. El siguiente desplazamiento se hace hacia el otro lado de la línea principal, pero colocándola en la siguiente posición paralela, y así sucesivamente.

Los laterales de desplazamiento circular corresponden a los sistemas llamados de Pivote Central, los cuales están diseñados para regar un gran círculo. Estos sistemas están completamente automatizados para desplazar circularmente el lateral, el cual va montado sobre unidades compuestas por una torre de soporte que se apoya sobre dos ruedas neumáticas. En estos laterales, el diseño de aspersion es diferencial, por cuanto los aspersores entre más se alejen del pivote central, mayor es su área de cobertura.

#### Sistemas Móviles

Estos sistemas están provistos de una unidad móvil que lle-

va un aspersor gigante, la cual se va desplazando en línea recta para regar una franja rectangular y luego se desplaza a una nueva posición paralela para regar la siguiente franja de terreno.

Existen en general dos modalidades de estos sistemas: una de ellas consiste en que la unidad móvil está acoplada a una manguera flexible y desplazable, la cual a su vez se acopla a la línea principal. Para regar cada franja existe un acoplamiento de la manguera flexible con la línea principal. En esta primera modalidad el equipo de matorbomba es estacionario y lógicamente, independiente de la unidad móvil.

La otra modalidad es prácticamente una máquina regadora por cuanto el equipo de bombeo y aspersión conforman la unidad móvil. Esta unidad está montada sobre ruedas neumáticas u orugas y se desplaza longitudinalmente por sobre los lados de una zanja desde donde succiona el agua requerida. Para regar cada franja rectangular de terreno se requiere una zanja central.





(Tabla No. 1 Continuación)

## 6. CALCULO DE LA LAMINA BRUTA Y FRECUENCIA DE RIEGO

|                                  | Lote No. y Hectareaaje |   |   |   |   | Diseño del sistema |
|----------------------------------|------------------------|---|---|---|---|--------------------|
|                                  | 1                      | 2 | 3 | 4 | 5 |                    |
| a) Tipo de cultivo               | —                      | — | — | — | — | _____              |
| b) Prof. radicular efectiva (cm) | —                      | — | — | — | — | _____              |
| c) Lámina neta por riego (cm)    | —                      | — | — | — | — | _____              |
| d) Uso consuntivo máximo cm/día  | —                      | — | — | — | — | _____              |
| e) Intervalo de riego (días)     | —                      | — | — | — | — | _____              |
| f) Eficiencia de aplicación (%)  | —                      | — | — | — | — | _____              |
| g) Lámina bruta por riego (cm)   | —                      | — | — | — | — | _____              |

## 7. REQUERIMIENTOS DE RIEGO POR PERIODO

|                                           |   |   |   |   |   |       |
|-------------------------------------------|---|---|---|---|---|-------|
| a) Humedad neta req./ período (cm)        | — | — | — | — | — | _____ |
| b) Humedad efectiva almacenada. Est (cm)  | — | — | — | — | — | _____ |
| c) Precip. efectiva. Est. años secos (cm) | — | — | — | — | — | _____ |
| d) Lámina neta requerida Est. (cm)        | — | — | — | — | — | _____ |
| e) Lámina bruta requerida (cm)            | — | — | — | — | — | _____ |
| f) No. de riegos requeridos Est. (Max.)   | — | — | — | — | — | _____ |
| g) No. de riegos requeridos Est. (min.)   | — | — | — | — | — | _____ |

## 8. CALCULOS DE CAPACIDAD DEL SISTEMA

|                               |   |   |   |   |   |       |
|-------------------------------|---|---|---|---|---|-------|
| a) Tasa de aplicación (cm/hr) | — | — | — | — | — | _____ |
| b) Tiempo por posición (hr)   | — | — | — | — | — | _____ |

(Tabla No. J. Continuación)

|                                                 | Lote No. y Hectareaje |     |     |     |     | Diseño del Sistema |
|-------------------------------------------------|-----------------------|-----|-----|-----|-----|--------------------|
|                                                 | 1                     | 2   | 3   | 4   | 5   |                    |
| c) No. de posiciones por día                    | ---                   | --- | --- | --- | --- | _____              |
| d) Días de operación por intervalo              | ---                   | --- | --- | --- | --- | _____              |
| e) Capacidad del sistema (LPS-GPM) (Preliminar) | ---                   | --- | --- | --- | --- | _____              |

## 9. DISEÑO FINAL-ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA DE ASPERSION

- a) Tasa de aplicación definitiva \_\_\_\_\_ cm/hr  
 b) Espaciamiento \_\_\_\_\_ (Asp.) x \_\_\_\_\_ (Lat.)  
 c) Aspersor \_\_\_\_\_ Modelo \_\_\_\_\_; Boquilla \_\_\_\_\_ "x" x \_\_\_\_\_";  
 GPM prom. \_\_\_\_\_ p.s.i. prom. \_\_\_\_\_  
 d) Lateral \_\_\_\_\_ Long.Total \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ "y" de \_\_\_\_\_  
 " No. de Asp. \_\_\_\_\_.  
 e) Cabeza perdida en Lat. \_\_\_\_\_ psi f) Cabeza de presión  
 Lat. \_\_\_\_\_ psi \_\_\_\_\_ ft,m g) Capacidad total Lat. \_\_\_\_\_  
 GPM, Lps. h) No. de laterales operando \_\_\_\_\_  
 i) Capacidad total del sistema \_\_\_\_\_ GPM, Lps j) Hectáreas  
 cubiertas por posición \_\_\_\_\_  
 k) Hectáreas cubiertas por día \_\_\_\_\_.

## 10. DISEÑO DE LA LINEA PRINCIPAL - Requerimientos de la Capacidad (adjuntar diagrama y perfil)

\_\_\_\_\_ GPM desde la fuente hasta \_\_\_\_\_ ft, m; \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_ GPM para \_\_\_\_\_ ft,m.  
 \_\_\_\_\_ GPM para \_\_\_\_\_ ft,m; \_\_\_\_\_ GPM para \_\_\_\_\_ ft,m.

(Tabla No. 1 Continuación)

## 11. CABEZA DINAMICA PARA DIFERENTES COMBINACIONES DE PRINCIPAL Y H P REQUERIDO

| Tanteos | Diam. y Long.                         |   |   | Cabeza perd. por combinación |   |   |   |
|---------|---------------------------------------|---|---|------------------------------|---|---|---|
|         | "                                     | " | " | 1                            | 2 | 3 | 4 |
| a)      | 1                                     |   |   |                              |   |   |   |
|         | 2                                     |   |   |                              |   |   |   |
|         | 3                                     |   |   |                              |   |   |   |
|         | 4                                     |   |   |                              |   |   |   |
| b)      | Presión de entrada al lateral (ft,m)  |   |   | _____                        |   |   |   |
| c)      | Diferencia de elevación máxima (ft,m) |   |   | _____                        |   |   |   |
| d)      | Pérdidas menores (ft,m)               |   |   | _____                        |   |   |   |
| f)      | Cabeza Dinámica (ft,m)                |   |   | _____                        |   |   |   |
| g)      | W H P Requerido                       |   |   | _____                        |   |   |   |

12. TAMAÑO ECONOMICO DE TUBERIA

|    |                                             |       |
|----|---------------------------------------------|-------|
| a) | Costo aproximado de la combinación de tubo  | _____ |
| b) | Costo fijo anual                            | _____ |
| c) | Diferencia en costo fijo anual              | _____ |
| d) | Diferencia en W H P                         | _____ |
| e) | Costo/WHP por período                       | _____ |
| f) | Diferencia en costo de potencia por período | _____ |

## 13. SELECCION DE LA BOMBA

|    |                                       |       |
|----|---------------------------------------|-------|
| a) | Fabricación, modelo y tamaño          | _____ |
| b) | Diámetro del impulsor _____"          | _____ |
| c) | RPM a carga de diseño _____           | _____ |
| d) | Eficiencia _____%                     | _____ |
| e) | BHP requerido a carga de diseño _____ | _____ |
| f) | Cabeza al cierre _____ ft,m           | _____ |
| g) | BHP a mínima carga de diseño _____    | _____ |
| h) | RPM a mínima carga _____              | _____ |

(Tabla No. 1. (Continuación))

14. SELECCION DE LA UNIDAD DE POTENCIA

- a) Fabricación, modelo \_\_\_\_\_
- b) Pulg. cub. cm. cub. \_\_\_\_\_
- c) Carrera del pistón (pulg, cm) \_\_\_\_\_
- d) RPM a carga de diseño \_\_\_\_\_
- e) Velocidad del pistón a  
carga de diseño \_\_\_\_\_
- f) Mmpa a carga de diseño \_\_\_\_\_ Psi.
- g) Tipo de conversión de  
energía \_\_\_\_\_
- h) Relación de velocidad \_\_\_\_\_
- i) Motor eléctrico \_\_\_\_\_ hp; \_\_\_\_\_ fase; \_\_\_\_\_ rpm

15. COSTOS DE PRODUCCION DE CULTIVOS

| A. Costos de riego por período            | Alt.1. | Alt.2. | Alt.3. |
|-------------------------------------------|--------|--------|--------|
| a) Costo de mano de obra                  | _____  | _____  | _____  |
| b) Costo de equipo para movi-<br>mientos  | _____  | _____  | _____  |
| c) Costos de energía                      | _____  | _____  | _____  |
| d) Costos fijos                           | _____  | _____  | _____  |
| e) Costos de mantenimiento                | _____  | _____  | _____  |
| f) Costos totales de riego<br>por período | _____  | _____  | _____  |
| g) Costos de riego por hec-<br>tárea      | _____  | _____  | _____  |
|                                           |        |        |        |
| B. Otros costos de producción de cultivos |        |        |        |
| a) Preparación de tierras                 | _____  | _____  | _____  |
| b) Siembra o preparación es-<br>tacional  | _____  | _____  | _____  |
| c) Cultivada                              | _____  | _____  | _____  |
| d) Control de enfermedades y<br>plagas    | _____  | _____  | _____  |
| e) Fertilizantes                          | _____  | _____  | _____  |
| f) Cosecha o procesamiento                | _____  | _____  | _____  |
|                                           |        |        |        |
| C. Costos totales de Producción           |        |        |        |

(Tabla No. 1 Continuación)

|                                                       |        |        |        |
|-------------------------------------------------------|--------|--------|--------|
| 16. RETORNOS BRUTOS POSIBLES O ESPERADOS              |        |        |        |
| (Solo para comparación) BASADOS EN HECTAREAJE BRUTO Y |        |        |        |
| PRODUCCION                                            |        |        |        |
| a) Retornos brutos totales                            | Alt.1. | Alt.2. | Alt.3. |
| producción del predio                                 | _____  | _____  | _____  |
| b) Deducción por clasificación de calidad             | _____  | _____  | _____  |
| c) Deducción por tierra no utilizada                  | _____  | _____  | _____  |
| d) Retornos brutos ajustados                          | _____  | _____  | _____  |
| 17. BENEFICIOS POSIBLES O ESPERADOS _____             |        |        |        |

## SELECCION Y ESPACIAMIENTO DE ASPERSORES

Los criterios que aquí se enuncian en cuanto a selección y espaciamento de aspersores, han sido tomados principalmente del Manual AMES, 1967.

### Información general

Desde 1942, Christiansen estableció los siguientes criterios como guía inicial de selección:

1. Existe una presión óptima para cada diámetro de boquilla, de modo que se obtenga un adecuado tamaño de gotas de lluvia y un patrón de distribución deseable, en sección transversal.
2. El traslape resultante entre uno y otro aspersor depende del perfil patrón de distribución del aspersor.
3. La rotación del aspersor debe ser uniforme y relativamente lenta. Velocidades ideales de rotación son: 1-2 rpm para aspersores pequeños y 1 revolución cada 2 a 3 minutos para aspersores gigantes.

### Altura de Elevadores

Los vientos son el principal factor a considerar. Wiersma,

1955, estableció los siguientes criterios:

1. En regiones donde los vientos son lentos, la altura de los elevadores solamente es función del tipo de cultivo. Se recomiendan, sin embargo, las siguientes alturas mínimas para evitar turbulencia:

| Diam. Elevador" | Altura Mínima" |
|-----------------|----------------|
| $\frac{1}{2}$   | 3              |
| $\frac{3}{4}$   | 6              |
| 1               | 12             |
| 3 (gigante)     | 36             |

2. Para vientos desde moderados hasta fuertes, debe considerarse que es deseable, en general, una altura del elevador de 18" a 24" por encima de la altura máxima del cultivo. Esto se debe a que cerca al tope de los cultivos o a la superficie del suelo, el movimiento del aire es turbulento y distorsiona el patrón de distribución en forma más acentuada que cuando el aspersor opera en un medio de flujo estable de aire.

#### Dirección de los vientos y disposición del lateral

Se ha encontrado que los mejores patrones de distribución se

obtienen cuando el lateral se coloca a  $45^{\circ}$  en relación con los vientos predominantes, sin embargo, para fines prácticos, la disposición de  $90^{\circ}$  ha demostrado buenos resultados.

### El Diámetro de la boquilla y su presión de operación

En general, el diámetro de la boquilla y su presión de operación, afectan la distribución del agua en la forma siguiente:

#### Aumentando Presión

- 1) Decrece el tamaño de las gotas.
- 2) Se incrementa el diámetro mojado.
- 3) Decrece la energía de impacto de la gota y el rompimiento de agregados.
- 4) Decrece la tasa de aplicación instantánea

#### Disminuyendo el diámetro de la boquilla

- 1) Decrece el tamaño de las gotas.
- 2) Decrece el diámetro mojado
- 3) Decrece la energía de impacto de la gota y el rompimiento de agregados.
- 4) Decrece la tasa de aplicación instantánea.

### Efecto del tamaño de las pequeñas gotas sobre la infiltración

La energía que gasta una gota de agua al caer sobre la superficie del suelo, tiende a romper o desalojar los agregados de la superficie produciendo en esta lo que comúnmente se llama el "sellado". La magnitud de energía de la gota que cae depende de su tamaño y velocidad de caída. Así la energía ci-

nética ( $E_c$ ) que posee una gota que cae, es el producto de la mitad de su masa ( $M$ ) y el cuadrado de su velocidad ( $v$ ).

$$E_c = \frac{1}{2} Mv^2 \quad (1)$$

En general, se observa que a mayor diámetro de las gotas, es mayor también el decrecimiento de la capacidad de infiltración del suelo.

La velocidad terminal, o sea la máxima velocidad posible, depende del tamaño de la gota. La energía normal gastada por pulgada de lluvia en cada pie cuadrado de la superficie del suelo, por varios tamaños de gota, es:

| <u>Tamaño de la gota (mm)</u> | <u>Energía (pie - lb)</u> |
|-------------------------------|---------------------------|
| 0.5                           | 2.8                       |
| 1.0                           | 12.7                      |
| 2.0                           | 36.3                      |

Tasas de aplicación instantánea o verdadera y promedia

En el sistema inglés, la tasa promedia de aplicación se puede calcular por medio de la fórmula:

$$\text{Tasa promedia de aplicación (" / hr)} = \frac{\text{GPM} \times 96.3}{\text{Area}} \quad (2)$$

donde:

GPM = caudal en galones por minuto por aspersor

Area = espaciamento entre aspersores en pies x espaciamento entre laterales en pies.

La tasa de aplicación instantánea o verdadera de un aspersor en rotación, es varias veces la tasa promedio. Esta tasa se obtiene midiendo la lámina de agua que cae durante un intervalo de tiempo exacto, sobre una pequeña porción del círculo de rotación.

Cuando se presenten problemas de "sellado" de la superficie, causados por altas tasas instantáneas de aplicación, se puede pensar en un aumento de presión y/o una selección de una boquilla de menor diámetro. Se recomienda una velocidad de rotación uniforme del aspersor entre 1 y 2 rpm, para reducir la tasa de aplicación instantánea.

#### Pérdidas de rocío

Se refiere a las pérdidas de rocío por evaporación, durante el riego. Dependen principalmente del tamaño de la boquilla, de la presión de operación y de las condiciones climáticas. Estas pérdidas se hacen despreciables en condiciones de bajas temperaturas y elevadas humedades.

Coeficiente de Uniformidad (Cu)

En el año de 1942, Christiansen J.E., estableció el Coeficiente de Uniformidad Cu, como una forma de comparación de los diferentes perfiles patrones de aspersión y para evaluar el efecto que sobre la uniformidad de distribución del agua tienen diferentes espaciamientos entre aspersores y laterales. El Cu se define así:

$$Cu = 100 \left( 1.0 - \frac{\sum x}{mn} \right) \quad (3)$$

Donde:

$\sum x$  = suma de las desviaciones de la media de todas las observaciones, sin tener en cuenta el signo.

m = Valor promedio de todas las observaciones

n = número de observaciones.

En el diseño de un sistema de riego por aspersión, son aceptables generalmente, valores de Cu que oscilen entre 80 y 95%. Cultivos densos, sin embargo, exigen un valor de Cu superior al requerido por cultivos de mayor espaciamiento.

Para determinar el Cu de un sistema de aspersión se pueden hacer pruebas de campo colocando pequeños recipientes (pueden ser tarros de 1/4 de galón), espaciados en cuadrícula entre 1.5 y 3.0 metros y colocados entre dos aspersores conse-

cutivos en operación. El Cu se obtiene por medio de la fórmula (3), midiendo la cantidad de agua recolectada en cada uno de los recipientes y haciendo los cálculos respectivos.

### Perfiles patrones de precipitación con Aspersores

La Figura 2 muestra los patrones de distribución, A hasta E, que se pueden observar bajo diferentes condiciones de aspersión, y el perfil F que corresponde a un patrón teórico.

Christiansen encontró que si un aspersor rota a una velocidad uniforme en aire completamente quieto, el patrón que resulta será simétrico con respecto al centro.

Las condiciones de operación en el campo, afectan tanto el diámetro mojado, como el perfil de precipitación. Estas condiciones de operación son afectadas principalmente por los vientos. En los perfiles A y B predominan los vientos hacia arriba, en los perfiles D y E predominan los vientos hacia abajo y los vientos cruzados son propios del perfil C.

La clase de aspersor es otro factor que incide en el patrón de precipitación. Los perfiles A y B son característicos de dos o más boquillas por aspersor. Los perfiles C y D son propios de aspersores de una boquilla trabajando a las

presiones recomendadas. El perfil E es propio de aspersores cuya boquilla o boquillas están trabajando a presiones más bajas de las recomendadas por los fabricantes.

Strong, en California, efectuó numerosas pruebas de campo para determinar patrones de precipitación y concluyó que para estimar el Cu de cualquier aspersor y espaciamiento, se pueden seguir los pasos siguientes:

1. Determinar la forma promedia del perfil de precipitación.
2. Determinar el diámetro efectivo, reduciendo este en 1% por cada milla por hora de velocidad del viento.
3. Seleccionar el perfil patrón de descarga de la Figura 2, que más se ajuste al patrón de aspersión. Se debe interpolar si cae entre dos curvas.
4. Para el espaciamiento entre aspersores a lo largo del lateral, determinar el Cu del lateral, utilizando el perfil patrón seleccionado en el paso No. 3 y entrando a las abscisas de la Figura No. 2, con:

$$\% \text{ Diam.} = (\text{Esp. Asp. en lateral} / \text{Diam Ef}) \times 100$$

5. Para el espaciamiento entre laterales, determinar el Cu del principal, entrando a las abscisas con:

$$\% \text{ Diam.} = (\text{Esp. Lateral} / \text{diam. Ef.}) \times 100$$

Coefficiente de Uniformidad -  $C_u$ .

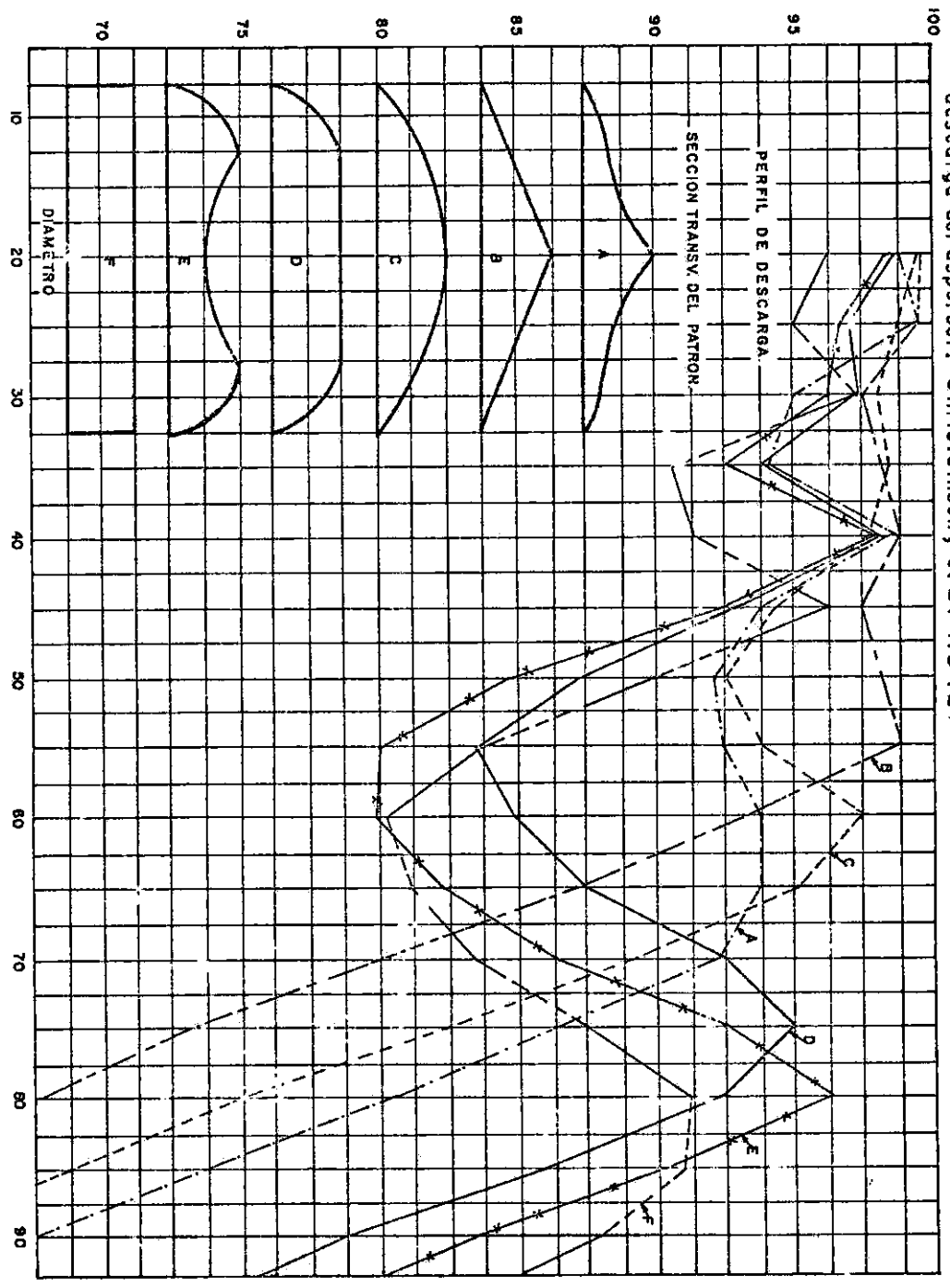


FIG. No. 2.- Coeficientes de uniformidad para diferentes patrones de distribución de dispersión y espaciamientos entre laterales con aspersores de corto espaciamiento a lo largo del lateral. (Espaciamiento a lo largo del lateral,  $S_L = 5\%$  del diámetro. Diámetro = diámetro efectivo del área circular cubierta por la descarga del aspersor. Christensen, J. E. 1.942.

Espaciamiento a lo largo del lateral -  $S_w$  - % del diámetro.

6. Calcular el Cu del sistema:

$$Cu = (Cu \text{ principal} \times Cu \text{ lateral}) / 100$$

El procedimiento seguido por Strong, no sirve para obtener valores de Cu reales o de campo, pero si es útil para la selección de espaciamiento entre aspersores a lo largo del lateral y de espaciamiento entre laterales.

#### Espaciamiento entre aspersores y laterales

El procedimiento arriba mencionado puede utilizarse como una guía inicial para la selección de espaciamientos. Sin embargo, es común que los fabricantes suministren guías de selección de espaciamientos, de acuerdo con determinaciones prácticas de valores óptimos de Cu para diferentes tasas de aplicación, diámetro de boquillas y presiones óptimas de operación. Además, se adiciona información sobre caudales promedios por aspersor y diámetro mojado bajo las diferentes condiciones citadas.

La tasa de aplicación debe seleccionarse con base en el menor de los dos siguientes factores: a) La capacidad de infiltración deseada y b) La lámina bruta deseada, dividida por el tiempo de aplicación.

Las guías de selección dadas por los fabricantes son verídicas, sin embargo, en virtud de que cada predio puede tener condiciones específicas, se recomienda hacer una evaluación de campo del sistema de operación, para detectar posibles fallas que se puedan estar presentando y buscar su solución.

## DISPOSICION DE SISTEMAS DE ASPERSION

Para la disposición en el terreno, de un sistema de riego por aspección, se deben tener en cuenta algunas consideraciones generales sobre: fuentes de agua, tamaño y forma del área de diseño, longitudes y direcciones de los laterales, líneas principales y subprincipales. (Manual AMES, 1967).

### Fuentes de agua

Se debe tener información sobre pozos existentes y su localización, así como también, se debe estudiar la posibilidad de localizar nuevos pozos que permitan uniformizar la longitud de los laterales.

Conviene además reunir la información sobre aguas superficiales existentes, arroyos, etc, y si estas fuentes de agua están a mayor altura que el predio a regar, se debe considerar la posibilidad de utilizar parte a toda la presión necesaria por medio de la diferencia topográfica.

### Tamaño y forma del área de diseño

En lo posible debe tratarse de que el área a regar sea de forma rectangular. Esto facilita el movimiento de los late-

rales y ahorra mano de obra. Las áreas no rectangulares, se pueden regar utilizando subprincipales o subestaciones de bombeo.

Se debe también considerar la posibilidad de regar el predio con uno o más sistemas.

#### Longitudes y Direcciones de los Laterales

Los fabricantes recomiendan presiones promedias óptimas de operación de los aspersores. El límite recomendable de longitud de los laterales está basado precisamente en permitir solo un máximo de pérdida de cabeza del 20% con relación a esa presión promedio de operación. Si se trata de laterales sobre ruedas, se deben seguir las recomendaciones que sobre longitud suministran los fabricantes.

La dirección de los laterales está afectada por dos factores principales: la dirección de los vientos predominantes y la pendiente del terreno. Con relación al primer factor, se recomienda que los laterales se coloquen entre  $45^{\circ}$  y  $90^{\circ}$  con relación a la dirección de los vientos predominantes. Respecto al segundo factor, en cuanto sea posible, los laterales deben colocarse a través de la pendiente general del terreno, con el fin de obtener un mínimo de variación de pre-

sión a lo largo del lateral, excepto en los siguientes casos:

- a) Cuando resulta más económico colocar los laterales pendientes arriba y/o abajo.
- b) Cuando por coincidencia la dirección general de la pendiente del terreno, está a  $90^{\circ}$  con relación a la dirección de los vientos predominantes. En este caso deber proveerse reguladores de presión adecuados.

La dirección de las hileras de los cultivos, determinan en algunos casos la dirección de las líneas laterales.

#### Líneas principales y subprincipales

La colocación de la línea principal depende de la disposición aconsejable de los laterales y de la localización de la fuente de abastecimiento de agua. Se pueden usar principales permanentes, semipermanentes o portátiles, de acuerdo con las condiciones y necesidades de cada predio. De estas mismas condiciones y necesidades, depende también el tipo de tubería que se pueda usar y si ésta puede colocarse enterrada o superficial.

Si la línea principal debe atravesar arroyos, drenes, carre-

teras, carrileras, etc, conviene considerar el uso de puentes, o alcantarillas existentes. Por economía en la línea principal, debe verse la posibilidad de utilizar facilidades existentes de distribución, tales como canales revestidos, tuberías de concreto, estructuras, etc.

## ALGUNOS PRINCIPIOS HIDRAULICOS DE LA CONDUCCION

### POR TUBERIAS

Bernoulli estableció la siguiente ecuación para fluidos incompresibles ideales:

$$P/\gamma + v^2/2g + Z = \text{constante} = H_B \quad (4)$$

Donde:

$P/\gamma$  = Energía de presión por unidad de peso (m, ft),  
P es la intensidad de presión en cualquier punto y  $\gamma$  es el peso específico del fluido.

$v^2/2g$  = Energía cinética por unidad de peso (m, ft)  
v es la velocidad del fluido y g la aceleración de la gravedad.

Z = Energía potencial o de posición, por unidad de peso, (m, ft).

Si la ecuación (4) se aplica a dos puntos cualesquiera, 1 y 2 a lo largo de una conducción de flujo, se tiene:

$$(P/\gamma)_1 + (v^2/2g)_1 + Z_1 = (P/\gamma)_2 + (v^2/2g)_2 + Z_2 \quad (5)$$

En la derivación de la ecuación de Bernoulli se asumió lo siguiente:

1. El flujo es estable; las condiciones no cambian con el tiempo.

2. El flujo es unidimensional; se usó la velocidad media.
3. El fluido es incompresible; la densidad del fluido se consideró constante.
4. El flujo es ideal; se ignoraron las fuerzas de viscosidad.
5. El flujo es irrotacional;  $P/\gamma + v^2/2g + Z = C_B = \text{constante}$ , en cualquier punto a través del campo de flujo.

En condiciones de fluidos reales como el agua, se presenta el fenómeno de fricción, que consiste en que el líquido al fluir, cambia parte de la energía útil en energía calórica, la cual incrementa la temperatura del líquido y por ende su energía interna o actividad molecular; o también, parte de esa energía pasa hacia afuera de las paredes del sistema como flujo de calor. La fricción en esta forma, hace que se pierda parte de la energía a lo largo del sistema, constituyendo lo que comunmente se denomina "pérdidas por fricción".

Si en un sistema en operación, además de la energía que se pierde por fricción, se considera la energía que adiciona una bomba o que sustrae una turbina, la ecuación (5) se convierte en:

$$(P/\gamma)_1 + (v^2/2g)_1 + Z_1 \pm EM = (P/\gamma)_2 + (v^2/2g)_2 + Z_2 + hf \quad (6)$$

Donde:

EM, es la energía adicionada por la bomba o sustraída por la turbina, y

hf, es la pérdida de energía por fricción entre los puntos 1 y 2.

### Pérdidas Menores de Energía

Las pérdidas menores de energía o cabeza, son las que ocurren cuando hay flujo a través de válvulas, codos, tes, etc.

Las pérdidas menores se pueden estimar por medio de la fórmula:

$$h_m = K v^2/2g \quad (7)$$

Donde:

$h_m$  = pérdida menor de cabeza (m, ft)

K = factor que depende de las condiciones de entrada y salida y de cambio de diámetro.

$v^2/2g$  = cabeza de velocidad (m, ft)

Para determinar el factor K, se pueden considerar los siguientes casos: (manual AMES, 1967)

1. Entrada

K = 0.78; entrada de menor a mayor sección

$K = 0.50$ ; entrada con bordes afilados

$K = 0.23$ ; entrada con bordes ligeramente redondeados

$K = 0.04$ ; entrada en boca de campana.

2. Cambio de dirección del tubo

$K = 1.50$ ; giro súbito de  $90^\circ$

$K = 0.25$ ; giro de  $90^\circ$  con radio grande

$K = 1.20$ ; giro súbito de  $60^\circ$

$K = 0.20$ ; giro de  $60^\circ$  con radio grande

$K = 0.90$ ; giro súbito de  $30^\circ$

3. Cambio súbito en el diámetro de la tubería (de menor a mayor)

En este caso se puede usar la siguiente fórmula:

$$K = \left[ 1 - \frac{(d_1)^2}{(d_2)^2} \right]^2 \quad (8)$$

Donde:

$d_1$  = diámetro menor

$d_2$  = diámetro mayor

La cabeza de velocidad de la fórmula (7) corresponde aquí, a la que se determine usando el menor diámetro.

4. Cambio súbito en el diámetro de la tubería (de mayor a menor)

K puede estimarse entre 0.10 y 0.50 usando el diámetro menor para el cálculo de la cabeza de velocidad.

### Pérdidas de Cabeza en el Lateral

La pérdida de cabeza en el lateral depende esencialmente de los siguientes factores:

1. Número de aspersores por lateral
2. Longitud total de la tubería
3. Diámetro interior de la tubería
4. El caudal de flujo
5. La rugosidad de las paredes internas del tubo, según el material.
6. El tipo de acoplamiento.

Para estimar las pérdidas de cabeza en una línea se puede hacer uso de las fórmulas hidráulicas como la de Hazen Williams, la de Scobey, etc. Sin embargo, para llegar a un diseño adecuado de un lateral, este procedimiento de cálculo puede resultar largo y tedioso. Por esta razón se han ideado formas rápidas de obtener esas pérdidas. Estos procedimientos rápidos son principalmente: nomogramas, tablas de laterales pre-calculados y reglas de cálculo especializadas.

De estos procedimientos la regla de cálculo constituye la he-

rramienta más apropiada por su rapidez y facilidad de manejo. Una de las reglas de cálculo más comunmente usadas es la de "RAIN BIRD", su uso se discutirá más adelante.

#### Líneas Laterales. Pérdidas de Cabeza y Diámetro

La Sociedad Americana de Ingenieros Agrícolas ASAE, y la Asociación de Riego por Aspersión SIA, recomiendan que el diámetro del lateral o la combinación de varios diámetros en un mismo lateral, deben satisfacer la condición límite, de un máximo de 20% de pérdidas de cabeza en el lateral, con relación a la presión promedio de operación de los aspersores.

Con éste límite de pérdida de presión permisible, el problema de diseño de laterales se reduce a calcular las pérdidas de presión en la línea y la presión requerida a la entrada del lateral, teniendo en cuenta las diferencias topográficas.

#### Uso de la regla de Cálculo "RAIN BIRD"

En la práctica se pueden presentar dos situaciones diferentes:

1. Encontrar una combinación adecuada de los diámetros para un lateral, teniendo en cuenta el 20% de pérdida de cabeza permisible y conociendo la presión promedio óptima de

operación, el caudal promedio por aspersor y el espaciamiento entre aspersores.

- a. Encuentre la pérdida permisible de cabeza, multiplicando la presión promedio de operación por 20%.
  - b. En la ventanilla superior localice con la flecha, el número de aspersores del lateral.
  - c. Con la reglilla superior en la posición descrita en b, localice el caudal por aspersor de la reglilla inferior, bajo el correspondiente espaciamiento entre aspersores.
  - d. Seleccione dos diámetros de manera que la diferencia de pérdida entre los dos diámetros, que aparece en la tercera ventanilla, sea igual al 20% permisible.
  - e. Mantenga en la misma posición la reglilla inferior y coloque la reglilla superior de manera que queden enfrentados el caudal por aspersor y el espaciamiento entre aspersores. En la ventanilla superior encontrará bajo la flecha indicadora el número de aspersores correspondiente al menor de los diámetros y así, por consiguiente, se conocerán las longitudes de tubería para cada diámetro.
2. Conociendo la descarga por aspersor y su espaciamiento, y dados dos diámetros para una determinada longitud de tubería, calcular las pérdidas de cabeza (Manual AMES, 1967).

- a. Comience hallando las pérdidas de cabeza correspondientes al diámetro menor y su respectivo número de aspersores.
- b. Utilizando el mismo procedimiento para hallar pérdida de cabeza, encuentre estas pérdidas como si la longitud total de la tubería fuese del diámetro mayor.
- c. Halle las pérdidas de cabeza teniendo en cuenta el número de aspersores correspondiente al menor diámetro, pero tomando en este caso el mayor diámetro, para este tramo de tubería.
- d. Encuentre la diferencia entre b y c.
- e. La pérdida de cabeza en el lateral será igual a la suma de los resultados obtenidos en a y d.

#### La Presión de Entrada a la Línea Lateral

Se ha discutido que para el diseño de un lateral, un límite adecuado es permitir un máximo de pérdida de cabeza del 20% con relación a la presión promedio. Hay circunstancias sin embargo, en que esto puede no cumplirse. De todas maneras, cualquiera que sea la situación, esta debe tenerse en cuenta para estimar la presión requerida a la entrada del lateral.

Si la pérdida de cabeza en el lateral, es menor del 30% de la presión promedio ( $P_a$ ), la presión de entrada en el late-

ral ( $P_i$ ), será igual a la presión promedio más  $3/4$  de la; pérdida de cabeza  $h_f$ , más o menos la diferencia topográfica  $\Delta E_l$ , a lo largo del lateral.

$$P_i = P_a + (3/4) h_f \pm \Delta E_l$$

Cuando la pérdida de cabeza es superior al 30% de la presión promedio, la presión de entrada es igual a la pérdida total de cabeza, más la presión promedio, más o menos la diferencia topográfica.

Si el lateral está pendiente arriba, la diferencia topográfica tendrá signo positivo, para el cálculo de  $P_i$ . El signo será negativo en el caso de laterales pendiente abajo. Las unidades de  $\Delta E_l$  serán las mismas de  $P_a$  y  $h_f$  ( $\text{Kg}/\text{cm}^2$  psi, etc.).

#### Fricción en la línea Principal

La pérdida de cabeza en la línea principal se puede estimar por medio de fórmulas ampliamente conocidas. Sin embargo es usual que los fabricantes suministren tablas o nomogramas para facilitar la determinación de estas pérdidas.

En el cálculo de las pérdidas de cabeza de la línea principal, es muy importante tener en cuenta la forma como se coloca la

tubería en el terreno. Si la tubería va enterrada, las sinuosidades tanto horizontales como verticales con que se coloque la línea, aportarán pérdidas adicionales de presión que deben tenerse en cuenta.

Selección del diámetro más económico de tubería principal

Haciendo uso del numeral 12 de la Tabla 1, se puede proceder en la siguiente forma:

- 12 a. Estimar el costo aproximado para cada combinación de tubería. Se refiere al costo de compra, puesta la tubería en el predio.
- 12 b. Determinar el Costo Fijo Anual multiplicando el costo estimado en 12 a, por el Factor de Recuperación de capital. Cuando no se dispone de Tablas, este factor se puede determinar así:

$$FRC = \frac{i (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1} \quad (10)$$

Donde: FRC = Factor de Recuperación de Capital

$i$  = Tasa de interés por período

$n$  = Número de períodos con interés (generalmente años)

- 12 c. y d. Encontrar las diferencias en Costo Fijo Anual y WHP correspondientes a cada combinación.

La potencia al freno requerida por el sistema se

puede calcular así:

$$\text{BHP} = \frac{\text{WHP}}{\text{Ef.}} = \frac{Q \times \text{CDT}}{F \times \text{Ef.}} \quad (11)$$

Donde:

BHP = Potencia al freno en caballos de fuerza

WHP = Potencia teórica en caballos de fuerza

Ef = Eficiencia de la planta de bombeo

CDT = Cabeza Dinámica Total (m, pies)

F = Factor de conversión de unidades. (En el sistema inglés, Q = GPM, CDT = pies y F = 3960).

La Cabeza Dinámica Total será:

$$\text{CDT} = P_i + E_l + h_f + h_m + h_s \quad (12)$$

Donde:

CDT = Cabeza Dinámica Total (m, pies)

P<sub>i</sub> = Presión de entrada al lateral (m, pies)

E<sub>l</sub> = Diferencia topográfica (m, pies), en el principal.

h<sub>f</sub> = Pérdidas por fricción en el principal (m, pies)

h<sub>m</sub> = Pérdidas menores en el principal (m, pies)

h<sub>s</sub> = Altura de succión (m, pies)

- 12 e. Calcular el costo / H P / período o cosecha. Para encontrar este costo, estime primero el número de horas de operación del sistema, de acuerdo con la información contenida en las secciones 7 y 8 de la Tabla 1.

El costo buscado será:

$$\text{Costo/WHP/Período} = \frac{\text{No. horas operación período} \times \frac{\text{costo BHP-hr}}{\text{Eficiencia}}}{\text{Eficiencia}} \quad (13)$$

- 12 f. Establecer la diferencia de costos anuales de energía por cada combinación y comparar con lo obtenido en 12.

En general, si la diferencia en Costo Fijo Anual, es menor que la diferencia en costo de energía por año, se puede seleccionar un mayor diámetro de tubería.

## COSTOS EN EL RIEGO POR ASPERSION

### Costos Fijos Anuales

Se distinguen dos costos fijos anuales: por abastecimiento de agua y por equipo.

En los costos fijos por abastecimiento anual de agua, se deben considerar, el costo volumétrico del agua, los costos de construcción para hacer llegar el agua al predio, los costos anuales por concepto de operación y mantenimiento del Distrito de Riegos, etc.

En los costos fijos anuales por equipo, debe considerarse la vida útil del equipo. Para el FRC debe tenerse en cuenta una tasa de interés equivalente a la que se obtendría si se invirtiera ese dinero en otro tipo de negocios, o a la tasa de interés de un préstamo por el valor del equipo a cubrir en un período igual a la vida útil del mismo.

### Costos de Mano de Obra/año

Estos costos dependen del grado de automatización del sistema, del número requerido de horas de operación, de la tasa de aplicación permisible, de la frecuencia de riego y de la experiencia de quienes participan en la operación y mantenimiento del sistema.

Costos de Energía/año

Estos costos corresponden a los discutidos para el numeral 12 e. de la Tabla 1. En países como Colombia, donde los costos de combustible están cambiando con tanta frecuencia es necesario estar actualizando continuamente este rubro, con el fin de tener una idea clara de la forma como estos costos están afectando los costos totales.

## REFERENCIAS

1. ARTHUR, F.P. Y DETAN, A. 1968. El Empleo del Riego por Aspersión. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma.
2. CHRISTIANSEN, J.E. 1942. Irrigation by Sprinkling. Bul 670. University of California, Berkeley.
3. GRANT, E.L. AND IRESON, G.W. 1970. Principles of Engineering Economy. 5th Edic. The Ronald Press Company. New York.
4. GRASSI, J.C. 1972. Métodos de Riego. Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras. CIDIAT. Mérida Venezuela.
5. ISRAELSEN, O.W. AND HANSEN, V.E. 1962. Irrigation Principles and Practices. 3rd Edic. John Willey and Sons, Inc. New York.
6. KELLER, JACK. 1965. Selection of Economical Pipe Sizes for Sprinkler Irrigation Systems. Transactions of the ASAE, 8: (2) 186-190.
7. Mc CULLOCH, A.W. et al. 1967. AMES irrigation hand book. LOCKWOOD - AMES. Gering, Nebraska.