

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE AGRONOMIA



RIEGO POR SURCOS CON FLUJO  
INTERMITENTE

SEMINARIO  
(OPCION III-A)

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO AGRICOLA

PRESENTA

ROSA MARIA MARQUEZ JIMENEZ

MARIN, N. L.

NOVIEMBRE DE 1989

T  
S605  
M3  
c.1



1080061999

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE AGRONOMIA



RIEGO POR SURCOS CON FLUJO  
INTERMITENTE

SEMINARIO  
(OPCION III-A)

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO AGRICOLA  
PRESENTA

ROSA MARIA MARQUEZ JIMENEZ

MARIN, N. L.

NOVIEMBRE DE 1989

10010

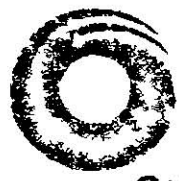
T  
S 605  
M3

040 631

FA6

1989

C.5



Biblioteca Central  
Magna Solidaridad

TESIS

F Tesis

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
DEPTO. DE INGENIERIA AGRICOLA



**RIEGO POR SURCOS CON FLUJO INTERMITENTE**

SEMINARIO (OPCION III A) QUE PRESENTA ROSA MARIA MARQUEZ  
JIMENEZ COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO AGRICOLA.

COMISION REVISORA

DR. JUAN FCO. PISSANI ZUÑIGA

ING. PEDRO R. ORIA RAMOS

ING. VICENTE J. ANGELES GZA.

FECHA: NOVIEMBRE DE 1989

Las espléndidas maravillas que nos rodean -Las flores, las aves, los animales, la magnífica creación llamada hombre, el milagro de la vida y del nacimiento- testifican de la existencia del intelecto- maestro invisible que las creó.

Romanos 1:20

## DEDICATORIA

A MIS PADRES:

SR. JULIO MARQUEZ CRUZ  
SRA. HIPOLITA JIMENEZ S.

Por su ejemplo de amor y superación constante, por su ayuda tanto material como espiritual.

CON CARIÑO Y GRATITUD A MIS HERMANOS:

Alicia  
Juan y Rosalba  
Bernardo  
Luz María  
Maricela

-A MIS SOBRINAS:

Ana Rosa  
Vidalía Paola  
Erika Edwina

A alguien que sin saberlo forjó en mí un espíritu de lucha y trabajo

Gracias SRA. ALBEZA G.

A MIS ABUELITOS:

SR. ALEJANDRO JIMENEZ, con cariño especial  
SRA. MA. REYES SAMANIEGO DE J. (+)

SR. REFUGIO MARQUEZ (+)  
SRA. ZENAIDA CRUZ DE M.

A mis amigos de siempre; gracias por todo:

Yolanda J.M., Cecilia M.B., Sandra E.M., Myrthala M.D.,  
Ma. del Roble M.S., Cristina Z.M., Ma. Concepción A.C.,  
Ma. Virginia V.H., Toñita Z.H.  
Manuel, Filomeno, Jesus M., Jorge L., Oscar, Sergio, Ru-  
perto, Jesus V., Eduardo F., Jaime G., Daniel C., Jacinto  
G., Alejandro J.L., Francisco R.G.

A mis maestros:

Por sus consejos, enseñanzas y alegres momentos que con nosotros compartan.



## A G R A D E C I M I E N T O S

AL DR. JUAN FCO. PISSANI ZUÑIGA

Por su dirección y ayuda invaluable brindada para la elaboración del presente trabajo.

AL ING. PEDRO R. ORIA RAMOS

AL ING. VICENTE ANGELES GARZA

Por su acertada colaboración en la revisión del presente trabajo.

A LA SRA. ROSA ELIA PEREZ

Por la mecanografía del presente trabajo.

AL COMPAÑERO GABRIEL ACOSTA

Por su ayuda en la realización del aspecto gráfico.

# I N D I C E

Pág.

|   |    |
|---|----|
| INTRODUCCION.....   | 1  |
| I. HIDRAULICA DEL RIEGO SUPERFICIAL POR SURCOS.....       | 4  |
| 1.0.0. Suelo.....   | 4  |
| 1.1.0. Pendiente.....                                     | 4  |
| 1.2.0. Infiltración.....                                  | 4  |
| 1.3.0. Forma, dimensiones y separación de los surcos.     | 6  |
| 1.4.0. Gasto.....   | 7  |
| 1.5.0. Curva de avance del frente de agua.....            | 8  |
| 1.6.0. Función de avance.....                             | 9  |
| 1.7.0. Tiempo de riego.....                               | 9  |
| II. SISTEMA DE RIEGO POR SURCOS CON FLUJO INTERMITENTE... | 11 |
| 2.0.0. Definición.....                                    | 11 |
| 2.1.0. Principios y condiciones.....                      | 12 |
| 2.1.1. Principios de la reducción de la tasa de in-       |    |
| filtración.....   | 12 |
| 2.2.0. Ventajas y limitaciones.....                       | 15 |
| III. INVESTIGACIONES REALIZADAS.....                      | 18 |
| 3.0.0. Investigaciones realizadas en Estados Unidos -     |    |
| por Utah Agricultural Experiment Station.....             | 18 |
| 3.0.1. Investigaciones realizadas en Utah.....            | 18 |
| 3.0.2. Investigaciones realizadas en Colorado.....        | 20 |
| 3.0.3. Investigaciones realizadas en Idaho.....           | 20 |
| 3.0.4. Investigaciones realizadas en Washington.....      | 21 |
| 3.1.0. Otras investigaciones.....                         | 22 |
| IV. METODOS DE EVALUACION DEL RIEGO POR SURCOS CON FLUJO- |    |
| INTERMITENTE.....   | 37 |

|          |   |    |
|----------|---|----|
| 4.0.0.   | Parámetros de evaluación.....   | 37 |
| 4.1.0.   | Evaluación convencional continua.....   | 38 |
| 4.2.0.   | Procedimiento de evaluación simplificado.....                                   | 41 |
| V.       | SIMULACION DEL RIEGO INTERMITENTE POR MODELOS MATEMATICOS.....                  | 45 |
| 5.0.0.   | Modelo de ola cinemática.....   | 45 |
| VI.      | EQUIPO DESARROLLADO PARA RIEGO E INFILTRACION POR --<br>FLUJO INTERMITENTE..... | 49 |
| 6.0.0.0. | Equipo para riego por flujo intermitente...                                     | 49 |
| 6.0.1.0. | Sistemas de tuberías con compuertas de arreglo ranurado.....                    | 49 |
| 6.0.2.0. | Sistemas de tubería sencilla.....   | 50 |
| 6.0.2.1. | Cablegación.....  | 53 |
| 6.1.0.0. | Sistemas de canales abiertos.....   | 56 |
| 6.2.0.0. | Infiltrómetros de recirculación en el surco                                     | 59 |
| 6.2.1.0. | Sistema de bomba centrífuga sencilla.....                                       | 60 |
| 6.2.2.0. | Sistema de tornillo de Arquímedes.....  | 62 |
| 6.2.3.0. | Sistema de bomba centrífuga doble.....  | 63 |
| VII.     | CONCLUSIONES.....   | 65 |
|          | BIBLIOGRAFIA.....   | 68 |

## INDICE DE FIGURAS Y TAPLAS

| FIGURAS | Pág.   |
|---------|--|
| 1       | Curva de avance del frente húmedo..... 8   |
| 2       | Láminas de agua infiltrada durante el avance del frente de agua en un riego..... 10  |
| 3       | Distribución de la humedad infiltrada calculada para el suelo del sitio Panoche cuando los requerimientos de riego al final del campo fueron satisfactorios..... 26                                    |
| 4       | Distribución de la humedad infiltrada en relación al tiempo de aplicación de el riego (Tapp) cuando los requerimientos de riego (2.75 pulg) en el extremo final del surco han sido satisfechos..... 26 |
| 5       | Esgurrimiento acumulado, que muestra que el escurrimiento es menor con flujo intermitente..... 28  |
| 6       | Comparación de las tasas de avance continuas e intermitentes con un gasto instantáneo de entrada -- igual: 1983 Riego 2, surcos suaves S-54S y C-15S.. 32  |
| 7       | Diferencias en el volumen infiltrado en una base de tiempo transcurrido durante el avance bajo riego intermitente..... 33  |

|    |  |    |
|----|--|----|
| 8  | Curva típica de la tasa de avance intermitente que muestra los tres regimenes de infiltración: 1983, -- surco duro S-52H.....  | 34 |
| 9  | Excesos y déficits en la lámina infiltrada durante la fase de avance.....  | 37 |
| 10 | Esquematzación del método de los dos puntos para determinar la función de avance.....  | 39 |
| 11 | Diagrama del sistema de tubería de compuertas de arreglo ranurado.....   | 49 |
| 12 | Diseño esquemático de sistemas intermitentes con válvulas de un solo surco y líneas de abasto de agua simples.....             | 50 |
| 13 | Válvulas de configuración "T" operadas por agua...   | 51 |
| 14 | Válvulas mecánicas tipo mariposa: (a) válvulas de disco sencillo, y (b) válvulas de disco doble.....                           | 51 |
| 15 | Válvula de riego operada con aire, con un diafragma en anillo, instalado entre un asiento y la tapa de la válvula alfalfa..... | 52 |

|    |   |    |
|----|---|----|
| 16 | Válvula comercial autoencendida con un diafragma--<br>inflado por aire.....   | 52 |
| 17 | Esquema del sistema de cablegación que usa un ta--<br>pón viajero en el interior de la tubería.....   | 54 |
| 18 | Modificación del sistema de cablegación para pro--<br>porcionar riego con flujo intermitente.....   | 54 |
| 19 | Vista de la sección transversal de una válvula sen--<br>cilla en el surco operada por aire.....   | 55 |
| 20 | Sección transversal de una válvula de surco tipo -<br>disco de cojín.....   | 55 |
| 21 | Vista perfil de un sistema de surcos de canal ---<br>abierto con una compuerta check automática.....  | 56 |
| 22 | Vista posterior de una compuerta de rotación para--<br>un sistema de surcos con flujo intermitente de ca--<br>nal abierto.....                                    | 57 |
| 23 | Diagrama esquemático de un sifón dosificador, que--<br>acumula y suelta automáticamente el agua, desde pe--<br>queños gastos dentro de pequeñas melgas y bordos.. | 58 |

|    |  |    |
|----|--|----|
| 24 | Esquema de una compuerta de caída automática que acumula y suelta el agua desde pequeños gastos dentro de pequeñas melgas o bordos.....  | 58 |
| 25 | Diagrama esquemático de un infiltrómetro de recirculación, con una bomba que recircula el agua hacia el tanque de abastecimiento (diseño de Oklahoma).....   | 60 |
| 26 | Diagrama esquemático del flujo de un infiltrómetro de recirculación en el surco con una bomba centrífuga sencilla. Vista lateral del diseño de Arizona   | 61 |
| 27 | Infiltrómetro de recirculación en el surco con una bomba tipo tornillo de Arquímedes: (a) diagrama esquemático del flujo, y (b) vista de perfil del vertedero aguas abajo y la bomba tipo tornillo sinfín (diseño de Idaho)..... | 62 |
| 28 | Diagrama esquemático de un infiltrómetro de recirculación en el surco con bomba doble.....   | 64 |

## TABLAS

|   |  |    |
|---|--|----|
| 1 | Tiempo transcurrido de avance de los tratamientos evaluados, flujo continuo e intermitente (minutos) | 24 |
|---|--|----|

|   | Pág. |
|---|------|
| 2 Datos operacionales para cada variable evaluada...  | 27   |
| 3 Parámetros de manejo del riego.....   | 28   |
| 4 Resultados de la variación del gasto (Qentrada) y tiempo del ciclo con flujo (Tabierto) en el número de intermitencias requeridas para avanzar hasta el final del campo, agua total aplicada y uniformidad en la infiltración durante el avance de un riego intermitente..... | 30   |
| 5 Tasas de infiltración medidas (mm/h) y tiempos de oportunidad correspondiente (min.) al final de las pruebas con el infiltrómetro.....  | 36   |



## INTRODUCCION

La aplicación del agua a suelos agrícolas con el propósito de regar los cultivos, es una de las alternativas que se tiene en muchas zonas a nivel mundial. Es esencial que se use eficientemente, especialmente cuando su disponibilidad es limitada.

Con excepción del riego subterráneos, en los restantes métodos de regadío, el agua se aplica a la superficie del terreno, para que penetre en él y se acumule para quedar a disposición de las plantas. Por tanto, el objetivo principal del riego consiste en aportar agua al suelo donde quede almacenada (7).

En México, el riego es indispensable en 63% del territorio nacional, y necesario en 31%, que constituyen las zonas áridas y semiáridas, respectivamente.

En nuestro país, al igual que en muchos otros, la agricultura de riego representa el sistema de producción más seguro y de mayor productividad, ya que con solo el 25% de la superficie cultivada, produce el valor total de la producción. No obstante, la eficiencia global de riego en el país, solo alcanza el 45%; lo que indica que mas de la mitad del agua que se destina a la producción agrícola se pierde sin ser aprovechada por los cultivos.

México ocupa el sexto lugar mundial en materia de riego con una superficie de seis millones de hectáreas. Para regar-

los seis millones de hectáreas se utilizan básicamente dos métodos: los presurizados (aspersión, microaspersión y goteo), y los métodos superficiales (inundación y surcos). El método -- más generalizado es el de gravedad, que domina un 92% del área regada (12).

El riego superficial o de gravedad, como el de surcos, - melgas, curvas a nivel, etc.; han sido a través de la historia la forma de aplicar el agua a los cultivos y, recientemente -- han surgido otras técnicas de riego, como la aspersión y el go- teo; pero a pesar de que los métodos de riego presurizado son -- más eficientes, el riego superficial sigue siendo por mucho el sistema mas utilizado a nivel mundial.

Dentro de los métodos de riego superficial se encuentra - el riego por surcos comúnmente empleado en el riego de culti- - vos en hileras como: algodón, soya, cártamo, etc. El método - de riego superficial a pesar de producir bajos niveles de efi- ciencia es el más común porque requiere poca inversión.

Hasta hace cinco o seis años era de suponerse que los ba- jos niveles de eficiencia eran inevitables (12). Recientemen- te investigadores de la Universidad de Utah (14) han propuesto una modalidad en cuanto a la aplicación del flujo en el riego- por surcos, que permite un avance del agua más rápido que el - obtenido con el flujo aplicado en la forma normal (flujo cons- tante y uniforme). Esta técnica requiere poca inversión y es- adaptable a los métodos de riego existentes.

El riego intermitente consiste en la aplicación disconti-

nua del gasto de entrada, en base a una relación determinada de tiempos con o sin flujo dentro de la duración de un ciclo de intermitencias.

La aplicación de esta técnica como sistema de riego a nivel de usuarios, requiere de un sistema automatizado y definitivamente se necesita investigación tendiente a su diseño.

El principio del flujo intermitente tiene su origen en la utilización de esta forma de aplicación del flujo, en los sistemas de riego por aspersión y goteo.

La técnica de riego intermitente se empezó a propagar en los Estados Unidos en regiones donde abundaba la tubería de compuerta y donde el recurso agua era escaso y el costo elevado. Hoy en día la técnica es usada en melgas además de surcos, en canales revestidos además de tubería de compuerta.

Experiencias obtenidas por personal técnico del Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de Estados Unidos en el oeste de Kansas, concluyen que mediante el uso de este método se puede obtener un ahorro del agua y de la energía eléctrica en un 20% (12).

## I. HIDRAULICA DEL RIEGO SUPERFICIAL POR SURCOS

### 1.0.0. Suelo.

El riego por surcos se adapta a todos los tipos de suelos con buena velocidad de infiltración y baja erodabilidad.

### 1.1.0. Pendiente.

Su óptima función en terrenos planos con pendiente de menos de 0.2% no excluye el uso de este sistema de aplicación del riego, a suelos con pendientes mucho mayores; hasta 3% en cultivos en hileras rectas y hasta 15% para surcos en contorno.

### 1.2.0. Infiltración.

El agua es infiltrada a través del perímetro mojado del surco. En suelo no saturado, el movimiento del agua dentro del suelo es causado por gradientes de potencial mátrico y gravitacional. El movimiento horizontal hacia arriba se debe a gradientes de potencial mátrico. El movimiento vertical depende de ambos gradientes; mátrico y gravitacional (CIDIAT, 1973).

Hay dos formas principales de expresar la infiltración; la primera es la velocidad de infiltración que representa la cantidad de agua, en lámina de agua que penetra al suelo por unidad de tiempo. La segunda se denomina infiltración acumulada o lámina infiltrada y es la que se infiltra en el suelo durante un tiempo  $t$ .

En igualdad de condiciones de suelo y contenido de humedad

inicial, la velocidad de infiltración en los surcos es función, del gasto, pendiente, coeficiente de rugosidad de Manning, y el ancho del surco ( $W$ ).

El procedimiento más comúnmente empleado para medir la infiltración en surcos, consiste en determinar el gasto infiltrado  $Q_i$ , por diferencias, entre el  $Q$  de entrada y el  $Q$  de salida para cada tiempo acumulado,  $t$ , en un tramo de surco entre 10 a 30 m sin pendiente.

$$Q_i = Q_{\text{en } t} - Q_{\text{sal}} \dots \dots \dots (1)$$

Los valores instantáneos de  $Q_i$  se convierten a infiltración en mm/hora para infiltración.

$$I = \frac{Q_i \cdot 3.6}{WL} \dots \dots \dots (2)$$

donde  $L$  es la longitud del tramo de prueba,  $W$  el ancho del surco y  $Q$  el gasto medido en litros por segundo.

La infiltración puede expresarse de la manera siguiente:

$$I = K t^n \dots \dots \dots (3)$$

$K$  y  $n$  son coeficientes empíricos de la función de infiltración.

Por lo general la velocidad de infiltración se sitúa en una escala semilogarítmica en el eje ordenado, y el tiempo en abscisas.

La función de infiltración acumulada se obtiene integrando la función que representa la velocidad de infiltración.

$$Z = \int_0^t I dt = \int_0^t K t^n dt \dots (4)$$

Resolviendo la integral, y en caso de que la infiltración este expresada en cm/hora, dividir entre 60 para convertir el tiempo de horas a minutos de la I, quedando:

$$Z = \frac{K}{60(n+1)} + (n+1) \dots (5)$$

donde Z es la infiltración acumulada en cm, t es el tiempo de infiltración en minutos.

Grassi, (1972) (citado por Martínez Elizondo, 1980), considera que las ecuaciones anteriores se ajustan muy bien a la mayoría de las condiciones de las prácticas del riego por superficie. Sin embargo, hay algunos casos en los cuales la velocidad de entrada alcanza un valor constante dentro del período de infiltración, para lo cual se considera la siguiente ecuación:

$$I = K t^n + C \dots (6)$$

$$I = \frac{K}{60(n+1)} t^{n+1} + C \dots (7)$$

Donde C es la velocidad de infiltración constante para  $t \rightarrow \infty$ .

### 1.3.0. Forma, dimensiones y separación de los surcos.

La forma del surco originalmente dada por el implemento que lo realiza, es modificada con la aplicación del riego, por erosión y sedimentación; tendiendo a ser parabólica en suelos

de textura media o pesada; y de fondo plano, rectangular o trapecial, en suelos de textura fina.

El tamaño del surco depende del tipo de suelo, del cultivo e implemento usado; oscilan entre 10 cm y 40 cm de ancho superficial, con 5 cm a 20 cm de profundidad (CIDIAT, 1973). La separación de los surcos esta usualmente determinada por el cultivo y las prácticas culturales y de cosecha, y debe también estar relacionado con la naturaleza física y profundidad del suelo que se intenta mojar, de acuerdo con la profundidad de enraizamiento del cultivo.

Al emplear surcos demasiado largos se producen pérdidas excesivas por percolación profunda y erosión en sus cabeceras. No obstante, la reducción de pérdidas de superficie útil por regaderas y facilidad de movimiento de la maquinaria, favorecen el empleo de surcos largos. La longitud varía de 30 m o menos (para jardines) hasta 400 m (cultivares extensos). La longitud más usada oscila entre los 90 m y 150 m (Israelsen, 1973).

#### 1.4.0. Gasto.

El gasto que puede conducir un surco, depende de la sección de escurrimiento y de sus condiciones hidráulicas. Sin embargo, el gasto a aplicar esta limitado por: (1) la sección de escurrimiento que ofrece el surco, en los suelos con o sin pendiente reducida, y (2) la fuerza erosiva del agua en los suelos con pendiente.

Criddle et al; (1956) citado por (CIDIAT, 1973), han dado una ecuación para calcular el gasto máximo no erosivo,  $Q_{max}$ , en función de la pendiente,  $S\%$ ; para  $Q$  en litros/seg resulta,

$$Q_{max} = \frac{0.67}{S\%} \dots \dots \dots (8)$$

Definitivamente, lo más correcto es correr pruebas en campo para la determinación del gasto máximo no erosivo, que nos indican la erodabilidad y cambio de la sección transversal del surco, con diferentes caudales aplicados.

#### 1.5.0. Curva de avance del frente de agua.

La representación gráfica de la distancia  $X$ , contra el tiempo  $t$ , se denomina curva de avance, y esta relación determina la disminución de la velocidad del avance,  $dx/dt$ , con el tiempo. Este comportamiento es independiente de los factores hidráulicos y se debe a la disminución del gasto,  $Q$ , con la distancia  $X$  (Figura 1).

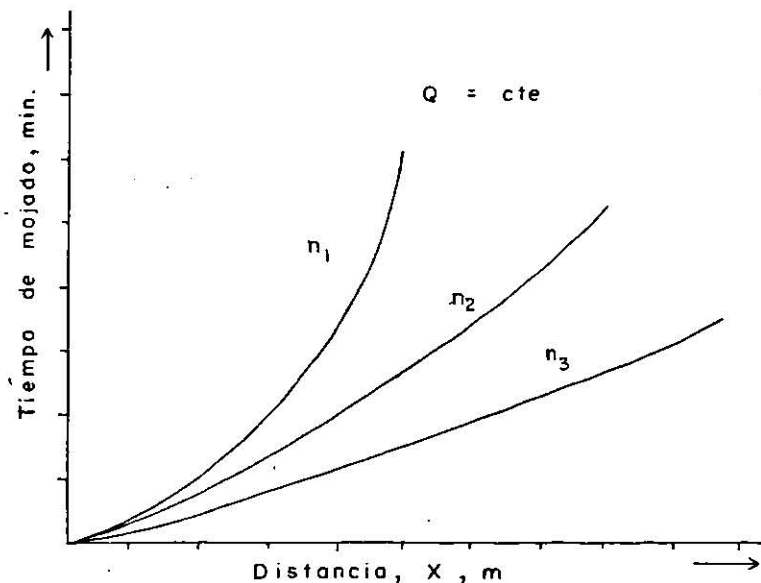


Figura 1. Curva de avance del frente húmedo.



### 1.6.0. Función de avance.

Diferentes autores coinciden en que el avance del frente del agua de riego es una función exponencial de la variable -- tiempo, y se puede expresar de la forma siguiente:

$$y = pt^R \dots \dots \dots (9)$$

donde  $y$  es la distancia de avance al tiempo  $t$ ,  $p$  es un coeficiente empírico de la función de avance,  $t$  el tiempo de avance y  $R$  un exponente empírico de la función de avance con valores de  $0 < R < 1,0$ .

El avance del frente de agua, depende de varios factores; gasto, función de infiltración, tamaño y forma del cauce, pendiente y rugosidad de la superficie.

### 1.7.0. Tiempo de riego.

Cuando el frente de agua a avanzado una determinada distancia durante un cierto período de tiempo, la reducción del -- espesor de la lámina de riego desde la entrada al frente de -- agua, representa el volumen de agua almacenada en el surco en dicha distancia; debido a las diferencias en el tiempo de contacto en distintas secciones a lo largo del surco; diferentes volúmenes de agua se han infiltrado en el suelo (Figura 2).

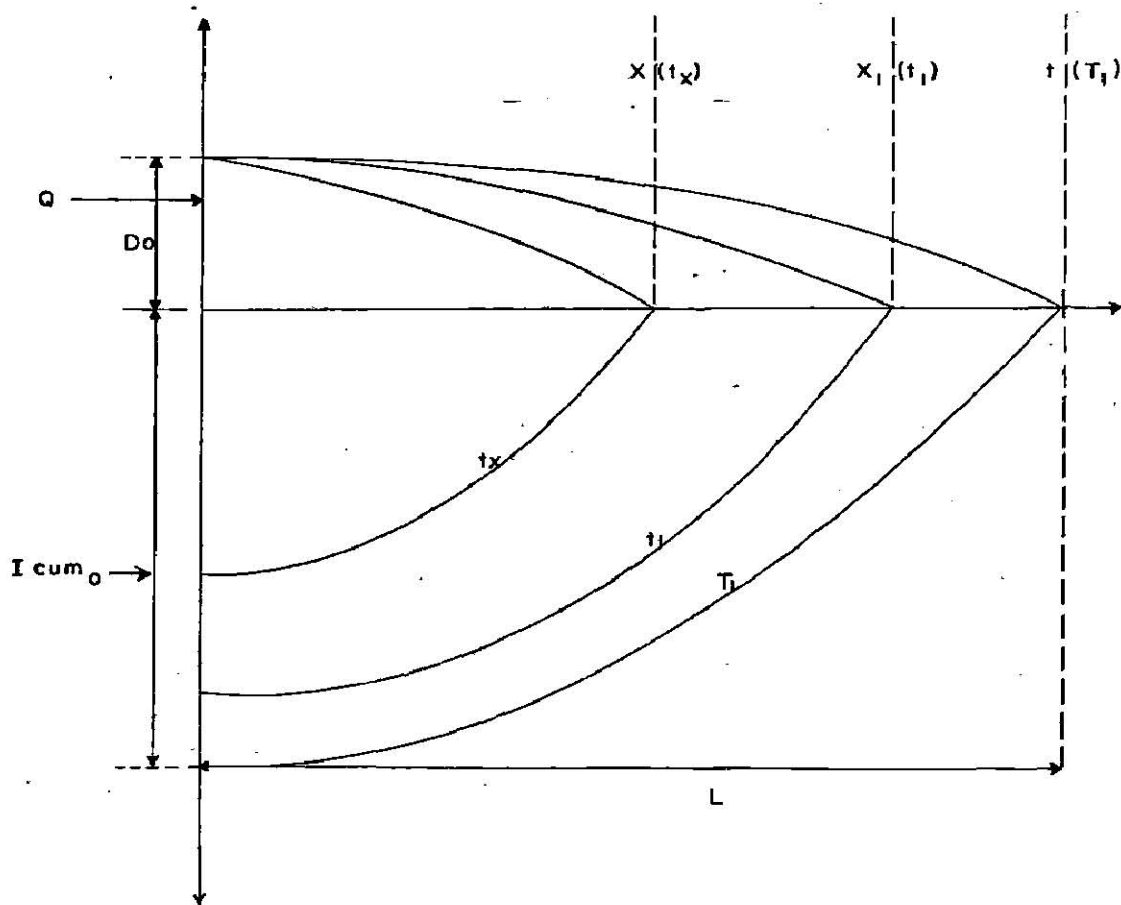


Figura 2. Láminas de agua infiltrada durante el avance del frente de agua en un riego.

## II. SISTEMA DE RIEGO POR SURCOS CON FLUJO INTERMITENTE

### 2.0.0. Definición.

El flujo intermitente, un nuevo concepto en el riego de superficie; fué introducido por primera vez en la Universidad del Estado de Utah, por Stringham y Keller, en 1979.

Por definición, el flujo intermitente es la aplicación intermitente del agua de riego a surcos y melgas; creando una serie de períodos de abierto y cerrado del flujo, de duración constante o variable (Research Bulletin 515, Utah Agricultural Experiment Station, 1988).

El riego intermitente es definido como la aplicación del agua de riego al suelo, en una serie de pulsos, en lugar de una entrada continua convencional (D.A. Goldamer, M.H. Alemi, y F.T. Izuno, 1987; R.P. Hanson, 1987).

El agua es aplicada al surco en una serie de ciclos. Cada ciclo consiste de un TIEMPO DE ABIERTO (tiempo en que el flujo del agua está dentro del surco, para un ciclo particular), y un TIEMPO DE CERRADO (tiempo entre el cese del flujo y el principio del siguiente). El tiempo del ciclo es la duración de un tiempo de abierto y un tiempo de cerrado. La RELACION DEL CICLO es la fracción del tiempo del ciclo tomada del tiempo con flujo (Testezlaf R., 1986).

TIEMPO DEL CICLO = Tiempo con flujo + Tiempo sin flujo..... (10).

Relación del ciclo =  $\frac{\text{Tiempo con flujo}}{\text{Tiempo del ciclo}}$  . . . . . (11).

### 2.1.0. Principios y condiciones.

Algunos investigadores han demostrado que la aplicación cíclica del agua en el riego superficial, hace posible completar la fase de avance con menos agua de la requerida en la aplicación continua; incrementándose así, la eficiencia de aplicación y la uniformidad en la distribución.

Según Fishop A.A., 1982; y Colidge P.S., W.R. Walker y Fishop, 1982 (citados por Castro G., 1987), y los resultados de sus estudios, la mayor rapidez del avance del agua con flujo intermitente, puede ser debido en gran parte a los efectos que esta forma de aplicación del flujo del agua tiene en el tirante hidráulico, rugosidad e infiltración.

La mayoría de las investigaciones presumen que la reducción en la tasa de infiltración, es el principal resultado de la intermitencia; y que la reducción toma lugar casi inmediatamente después del desalojo del agua de la superficie del suelo.

#### 2.1.1. Principios de la reducción de la tasa de infiltración (Reportados en el Research Pulletin 515, Utah Agricultural Experiment Station, 1988).

1) Redistribución del agua.- Durante la infiltración, el gradiente hidráulico induce a que esta se reduzca gradualmente, de un valor inicial relativamente alto (por fuerzas capilares) hasta cerca de la unidad (por fuerzas gravitacionales).

Durante el tiempo de apagado del flujo intermitente, el -

contenido de humedad del suelo en la superficie, puede ser reducido. En el siguiente rehumedecimiento, el gradiente hidráulico es al principio mayor que al final del ciclo de humedecimiento previo, y la conductividad puede ser reducida. Como la infiltración continua, la ubicación del frente húmedo tiene -- progresivamente más influencia en la tasa de infiltración. Levin et al., 1979, evaluó la redistribución del agua intermitente aplicada, desde una fuente puntual, y no encontró diferencias significativas en la posición del frente de humedecimiento, comparado con la aplicación continua del mismo volumen de agua.

2) Aire atrapado.- Para este caso se consideran dos fenómenos:

a) Aire atrapado en el suelo entre las capas de intermitencias sucesivas.- En estudios de laboratorio (en permeámetros), Lep, en 1981, encontró que tanto las columnas con escape como con entrada de aire, sujetas a humedecimiento intermitente, tuvieron tasas de infiltración más altas que con humedecimiento continuo; con esto se indica, que las aplicaciones intermitentes, proveen de mayor oportunidad para que el aire escape del perfil del suelo. A causa de los resultados contradictorios, concluyó que el aire atrapado no es un mecanismo por el cual se reducen las tasas de infiltración, -- por el flujo intermitente.

b) El segundo fenómeno es la aislación de poros grandes llenos de aire, después del rehumedecimiento de un suelo, lo cual

obstruye el flujo de la fase líquida a través de estos poros que afectan significativamente la conductividad hidráulica del suelo. Esta reducción en la porosidad efectiva es un factor principal en el comportamiento histerético de la relación entre tensión-conductividad en los suelos. No se conoce como el aire atrapado cambia entre el humedecimiento inicial y el rehumedecimiento seguido al escurrimiento. El entrapamiento del aire en los poros del suelo, reduce la infiltración bajo flujo intermitente; debido a diferencias en la conductividad y gradientes hidráulicos cerca del frente de humedecimiento y el frente de rehumedecimiento.

3) Migración y reorientación de las partículas.- La desintegración de los agregados del suelo, produce una capa superficial de conductividad hidráulica reducida, y, es probablemente la razón principal del proque las tasas de infiltración invariablemente decrecen, siguiendo al primer riego después de la labranza.

Allen (1980), teorizó que las partículas de suelo fueron reorientadas en un tipo de placa, seguido al deshumedecimiento. La mayor reducción de la infiltración; según pruebas realizadas, sucede en suelos de textura gruesa con una pequeña fracción de partículas de arcilla en forma de placa.

Malano (1982), postuló, que el movimiento de las partículas finas dentro de los espacios porosos grandes, reduce la infiltración.

Kemper et al. (1988), concluye que los mecanismos que --

provocan la reducción de la infiltración, incluyen: (a) la consolidación del suelo en el lecho del surco, (b) el llenado de las grietas en el lecho del surco, formadas durante la interrupción del flujo, (c) el sellado del lecho del surco por los sedimentos finos que deposita el flujo en los poros grandes, y (d) la desintegración más completa de las partículas de suelo del perímetro mojado, por un humedecimiento más rápido.

4) Consolidación.- En mecánica de suelos la consolidación es conocida, como el aumento de tensión de presión del poro. Samani et al. (1985), en pruebas de laboratorio con columnas de suelo con flujo intermitente, observaron que hubo un incremento en la densidad aparente, y una disminución en la conductividad hidráulica saturada, al aumentar la presión capilar durante el deshumedecimiento. Observaron también que la nueva expansión con un rehumedecimiento, ocurre más a menudo en muestras con alto contenido de arcillas.

En el campo, la consolidación ocurre en una capa delgada de la superficie del suelo; relacionándose su espesor, al grado de ruptura de los agregados en el rehumedecimiento. Además de la estabilidad de los agregados, el alto porcentaje de arcillas hinchadas, explica el porqué el riego intermitente no es una desventaja en suelos que se agrietan severamente (Pitts y Ferguson, 1985; Manges et al., 1985).

#### 2.2.0. Ventajas y limitaciones.

El riego en surcos es un fenómeno complejo, debido principalmente a la desuniformidad de la superficie del medio por el

cual es transportada el agua, es decir, el suelo. Con riego intermitente se presenta otra complicación, por los avances múltiples y el efecto de humedecimiento y deshumedecimiento alternativo en las características de infiltración del suelo.

La técnica de riego intermitente ha probado ser un medio efectivo, al conseguir un avance del agua más rápido por el surco, comparado a la aplicación continua (Forrest T. Izuno, T. H. Podmore, 1986).

Reduciendo el volumen de agua requerido para completar el avance; la técnica de riego intermitente proporciona el potencial para incrementar la uniformidad en la distribución de la humedad y, por lo tanto, uncrementa el uso efectivo del agua en el riego por surcos. Lo anterior, resulta para el agricultor en un uso de menos capital y una energía intensiva alternante, para reducir las pérdidas de agua; como para un sistema de riego presurizado.

Hay muchos casos reportados, donde la intermitencia proporciona grandes ahorros de agua, pero también existen casos reportados donde la intermitencia a resultado en progresos pequeños. Parte de esta discrepancia se debe a que muchos de los casos reportados, no son adecuadamente evaluados.

La eficiencia bajo riego intermitente ha sido estudiada por diversos investigadores (M.H. Alemi, 1988) y, en general han encontrado, que la eficiencia de aplicación aumenta usando el riego intermitente; pero también han reportado que se pueden presentar altas cantidades de escurrimiento, si la intermi



tencia no se maneja apropiadamente.

La falta de resultados positivos con flujo intermitente parece ocurrir más a menudo en texturas finas y suelos agrietados (D.A. Goldhamer, 1987).

Los beneficios atribuidos al flujo intermitente, parecen ser los resultados de la reducción en la tasa de infiltración en el suelo. Esto, obviamente puede no ocurrir en todas las situaciones; en algunas pruebas de campo, el flujo intermitente no ha mostrado ventajas sobre el riego de superficie convencional. Como los fenómenos físicos no son completamente entendidos, son necesarios más estudios; debido a que se pueden desarrollar diseños y criterios más confiables.

### III. INVESTIGACIONES REALIZADAS

Las primeras investigaciones realizadas en Utah, Colorado y California, han demostrado que la técnica de riego en surcos por flujo intermitente, puede incrementar la tasa de avance -- del gasto por el surco, en relación con esto; disminuye las diferencias en el tiempo de oportunidad de infiltración a través del campo.

Diferentes investigadores han observado el fenómeno de la intermitencia, y se ha intentado optimizar el manejo de parámetros para cada surco. Los parámetros usados son: el tamaño -- del gasto en el surco, el número de intermitencias durante la -- fase de avance, la duración de la intermitencia (tiempo con -- flujo), y el tiempo entre intermitencias (tiempo sin flujo). -- La combinación óptima resultará en el avance del gasto por el -- surco, con el más pequeño volumen de agua.

3.0.0. Investigaciones realizadas en Estados Unidos reportadas en el Research Bulletin 515, Utah Agricultural Experi-- ment Station, 1988.

3.0.1. Investigaciones realizadas en Utah.

En 1978, Stringham y Keller desarrollaron el concepto de riego superficial por flujo intermitente. Concluyeron que las válvulas de riego podrían operarse efectivamente, de una manera cíclica de encendido-apagado. En una prueba realizada se -- requirió de 33% menos de agua para lograr un avance en la lon-

gitud total del surco, comparado a un flujo continuo.

La investigación del flujo intermitente en la Universidad del Estado de Utah, en 1979, es concentrada en los experimentos de campo para medir las diferencias, entre los riegos de surcos, convencional con flujo continuo y el flujo intermitente, con el mismo gasto promedio en el surco; encontrándose diferencias notables que favorecen al riego intermitente.

No se determinó si las diferencias observadas fueron provocadas por el flujo intermitente, o resultaron como efectos de gastos instantáneos intermitentes más altos. Los resultados de campo indicaron, que en intermitencias iguales, con gastos instantáneos más bajos, el tiempo de avance permanció reducido. La variabilidad en el volumen de agua requerida para completar el avance, fué sustancialmente más bajo con flujo intermitente; el cual requirió de 14% a 47% menos de agua.

Los resultados más impactantes de 1981, fueron los obtenidos de un suelo migajón arenoso en Flowell, Utah; en pruebas realizadas en surcos no compactados. El flujo intermitente completó la fase de avance en casi 8 horas, aplicando una lámina de 5 cm; mientras que un tratamiento continuo aplicó una lámina de agua de 15 cm, y avanzó solo tres cuartas partes de la longitud del surco. También se incluyó en este año un infiltrómetro de surco, desarrollado en la Universidad del Estado de Utah.

Los resultados obtenidos indican las ventajas del flujo intermitente; más no identifican los procesos responsables.

### 3.0.2. Investigaciones realizadas en Colorado.

Las pruebas de riego intermitente fueron emprendidas en el Centro de Demostración de Investigaciones del Norte de Colorado, a principios de 1981.

El sitio del experimento fué un campo de 500 m de largo, con una pendiente de 0.6%, en un suelo migajón limoso.

Para los primeros tres riegos, el gasto instantáneo por surco fué de 1.9 l/seg. para riego continuo. Para flujo intermitente se usaron ciclos de 20 y 60 minutos repetidos para aplicar una carga constante de agua. El flujo continuo avanzó casi dos veces más rápido que el flujo intermitente con un ciclo de 60 minutos, y algo más rápido que el tratamiento con un tiempo de ciclo de 20 minutos.

Reduciéndose el gasto de flujo continuo a 0.96 lt/seg, y manteniendo la descarga intermitente en 1.9 lt/seg; el flujo intermitente con un tiempo de ciclo de 60 minutos avanzó más rápido que el flujo continuo.

El riego intermitente pareció ser menos eficiente en el tratamiento con un ciclo de 60 minutos, consecuentemente con poca diferencia entre el tratamiento con tiempo de ciclo de 20 minutos, y el flujo continuo al mismo gasto promedio, y bajo las mismas condiciones.

### 3.0.3. Investigaciones realizadas en Idaho.

La investigación en riego intermitente en el Centro de Investigación en Río Snake de ARS, Departamento de I.U.; se enfocó

có principalmente al desarrollo de válvulas y otros aparatos de control, para los sistemas de riego superficial, automático y semiautomático.

Las válvulas operadas con agua y aire, fueron desarrolladas para sistemas de riego por tuberías de compuertas que pueden reciclarse cuando son controladas por marcadores de tiempo apropiados. Se usan también, válvulas piloto de energía de baterías, y marcadores de tiempo mecánicos, electromecánicos y eléctricos.

Las válvulas operadas por agua desde la tubería, pueden ser demasiado lentas para tiempos de ciclos cortos.

Las pruebas de campo preliminares, en 1981, cercanas a Cataratas Twin, estudiaron la factibilidad de usar el flujo intermitente con un sistema automático, para minimizar las tasas de infiltración variables del suelo, durante los primeros riegos de la temporada.

Los resultados fueron variables. Los surcos con tratamiento intermitente no siempre requieren menos agua para avanzar hacia el extremo del campo. La compactación de los surcos tuvo un efecto mayor que el de la intermitencia. La mayor parte de la variabilidad fué provocada por paja suelta en los surcos.

#### 3.0.4. Investigaciones realizadas en Washington.

Se realizaron tres experimentos de flujo intermitente en 1981, en el Centro de Investigación y Extensión en Agricultura

de riego, de la Universidad del Estado de Washington en Pro--  
 sser. Un experimento fué realizado en un huerto de cerezas --  
 dulces, y otros dos en surcos nuevamente hechos.

El primer experimento trató de simular el régimen de hume--  
 dad de un riego por goteo. Los surcos tenían una longitud de  
 180 m, con una pendiente de 2%. Los gastos de entrada fueron--  
 ciclados diariamente con tiempos de 20 minutos a 120 minutos,--  
 dependiendo del volumen de agua requerido.

La eficiencia de aplicación excedió el 80% en todos los --  
 experimentos, y los datos de uniformidad de aplicación mostra--  
 ron también un alto valor.

El segundo experimento fué realizado en una plantación de  
 cebada, con una longitud de surco de 200 m, con una pendiente--  
 general de 6%. Los tratamientos intermitentes fueron compara--  
 dos con tratamientos de flujo continuo, con el mismo gastos --  
 instantáneo de entrada. Las pruebas se realizaron tanto en --  
 surcos compactados como en surcos no compactados. El avance --  
 pareció ser independiente de los tiempos de ciclo dados; los --  
 cuales indicaron que el mismo avance podría lograrse con la mi--  
 tad del volumen de agua, bajo flujo intermitente en pendientes  
 pronunciadas. No se logró completar el avance hasta el extre--  
 mo del surco; pero en comparación con el flujo continuo, el --  
 flujo intermitente avanzó de 10 m a 20 m más.

### 3.1.0. Otras investigaciones.

Según R.E. Hanson (1989), el escurrimiento subsuperficial

resulta de sobre riegos (y riegos no uniformes). Debido a la desuniformidad, si las áreas menos humedecidas reciben agua suficiente para reemplazar la depleción de la humedad del suelo; otras áreas han recibido más humedad provocándose con esto el escurrimiento subsuperficial. Las opciones para reducir el escurrimiento, tienen como meta mejorar la uniformidad de aplicación y reducir la cantidad de agua aplicada; mejorando la eficiencia de aplicación. El riego intermitente es una manera de reducir las pérdidas del agua de riego por escurrimiento en el riego por surcos. En estudios realizados en el Valle de San Joaquín, se manifiesta una reducción potencial de 30% a 40% -- del volumen de escurrimiento, donde las tasas de infiltración son relativamente altas. Los estudios realizados, han mostrado que se requiere cerca de 33% menos de agua para avanzar la longitud del campo, comparado con el método de flujo continuo-tradicional.

Castro G. (1988), en un estudio realizado en el Instituto Tecnológico de Sonora, en un suelo arcilloso; compara el sistema de riego en surcos con flujo continuo, con un sistema por flujo intermitente, con gastos instantáneos de aplicación iguales. Concluyó, que el tiempo transcurrido para lograr el avance a una distancia determinada, es mayor con flujo intermitente (Tabla 1); pero el tiempo es similar en ambos sistemas. También concluye, que el flujo intermitente, como sistema de riego, permite mayor rendimiento en el avance por tiempo; debido a que se pueden estar regando dos o más secciones de riego con tratamientos que se complementen en sus tiempos con y sin flujo, sin suspender el gasto de abastecimiento.

Tabla 1. Tiempo transcurrido de avance de los tratamientos evaluados, flujo continuo e intermitente (minutos).

| Tratamiento | Distancia de avance (metros) |      |      |       |     |     |                  |                  |                   |                   |                  |                  |                  |     |
|-------------|------------------------------|------|------|-------|-----|-----|------------------|------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|-----|
|             | 15                           | 30   | 45   | 60    | 75  | 90  | 105              | 120              | 135               | 150               | 165              | 180              | 195              | 210 |
| 10-10-0.75  | 6.5                          | 25.5 | 51.3 | 97.3  | 163 | 224 | 298 <sup>a</sup> | 388 <sup>a</sup> | 380 <sup>a</sup>  | 388 <sup>a</sup>  | 471 <sup>a</sup> | 574 <sup>a</sup> | 602 <sup>a</sup> |     |
| 34-10-0.75  | 8.9                          | 22.5 | 59.2 | 104.4 | 162 | 236 | 295              | 378 <sup>a</sup> | 471 <sup>a</sup>  | 574 <sup>a</sup>  | 602 <sup>a</sup> |                  |                  |     |
| 10-34-0.75  | 6.3                          | 50.1 | 77.1 | 172.4 | 305 | 466 | 662 <sup>a</sup> | 903 <sup>a</sup> | 1198 <sup>a</sup> | 1518 <sup>a</sup> |                  |                  |                  |     |
| 34-34-0.75  | 6.6                          | 18.4 | 43.8 | 91.1  | 136 | 215 | 308              | 362 <sup>a</sup> | 458 <sup>a</sup>  | 566 <sup>a</sup>  |                  |                  |                  |     |
| 22-22-1.5   | 5.8                          | 11.6 | 25.3 | 63.5  | 94  | 136 | 173              | 209              | 230               | 271               |                  |                  |                  |     |
| 46-22-1.5   | 4.0                          | 8.8  | 16.3 | 29.4  | 40  | 69  | 96               | 110              | 131               | 163               |                  |                  |                  |     |
| 22-46-1.5   | 4.0                          | 8.1  | 13.6 | 26.6  | 79  | 88  | 125              | 163              | 227               | 297               |                  |                  |                  |     |
| 10-10-2.25  | 2.6                          | 5.5  | 9.0  | 17.3  | 28  | 33  | 45               | 49               | 76                | 124               |                  |                  |                  |     |
| 34-10-2.25  | 2.0                          | 5.2  | 9.0  | 14.0  | 21  | 28  | 37               | 56               | 66                | 75                |                  |                  |                  |     |
| 10-34-2.25  | 2.6                          | 5.6  | 9.3  | 22.6  | 52  | 56  | 83               | 101              | 130               | 170               |                  |                  |                  |     |
| 34-34-2.25  | 3.0                          | 7.0  | 11.5 | 18.8  | 26  | 37  | 50               | 79               | 89                | 95                |                  |                  |                  |     |
| 22-22-3.0   | 2.0                          | 4.9  | 8.9  | 15.0  | 21  | 27  | 44               | 61               | 66                | 73                |                  |                  |                  |     |
| 0.75 cont.  | 5.2                          | 17.0 | 32.0 | 55.5  | 92  | 137 | 189              | 253              | 318               | 391               |                  |                  |                  |     |
| 1.5 cont.   | 3.5                          | 7.5  | 12.5 | 19.3  | 27  | 39  | 53               | 73               | 95                | 151               |                  |                  |                  |     |
| 2.25 cont.  | 2.0                          | 6.4  | 10.9 | 18.0  | 25  | 32  | 39               | 49               | 58                | 68                |                  |                  |                  |     |

<sup>a</sup> Datos estimados con función exponencial



Algo de gran importancia que hay que tomar en cuenta; es que para lograr lo anterior se requiere de la automatización del sistema.

David A. Goldhamer; M.F. Alemi y R.C. Phene (1987), realizaron estudios en California, en los Condados de Kern y Fresno en diferentes tipos de suelos; migajón arenoso y migajón arcilloso. Las evaluaciones fueron realizadas durante el riego de presiembra, y el primer riego a la siembra; cuando las tasas de infiltración son altas. Se usaron parcelas al azar, con cuatro repeticiones para comparar ambos riegos, flujo continuo y flujo intermitente. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 2 y 3.

Según los resultados del avance; fué mayor el tiempo requerido para lograr avanzar todo el campo con aplicaciones intermitentes. Las tasas de avance fueron aceleradas en los dos tipos de suelo con la aplicación intermitente. Se obtuvo una mejor distribución de la humedad, y por consecuencia, un escurrimiento menor; como lo muestran las figuras (3) y (4), lo que da una idea de que el volumen de escurrimiento puede ser reducido en los suelos de California con este problema; mejorándose así, la eficiencia de aplicación (Figura 5).

En Cd. Delicias Chihuahua, a pesar de los problemas suscitados; tales como la falta de personal técnico con conocimiento pleno de la técnica de riego intermitente, y la negligencia de algunos agricultores para usarla; el equipo para riego se usó sin la válvula de intermitencia, y no se tuvo un seguimiento

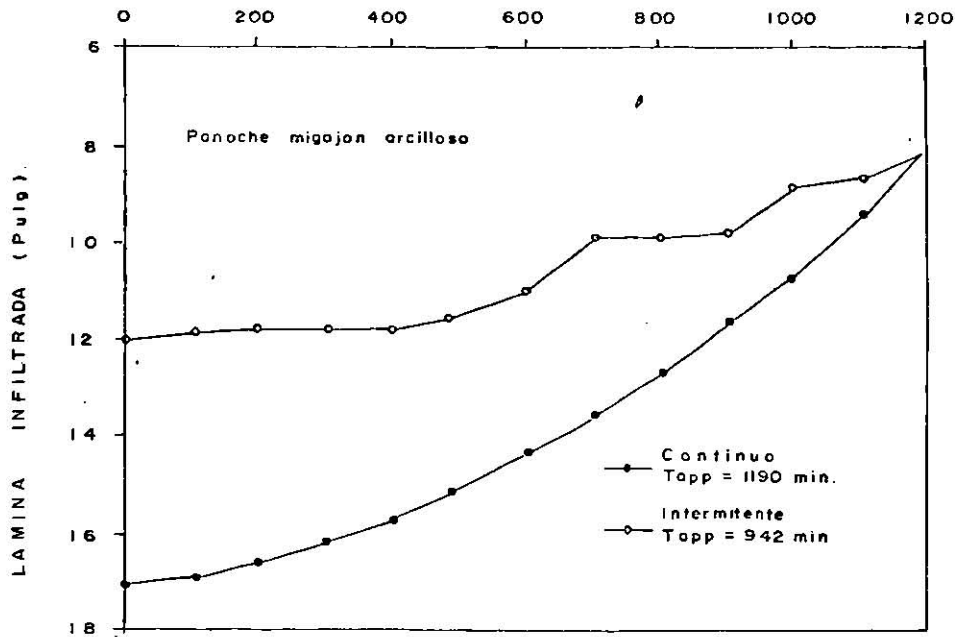


Figura 3. Distribucion de la humedad infiltrada calculada para el suelo del sitio - Panoche cuando los requerimientos de riego al final del campo fueron satisfechos.

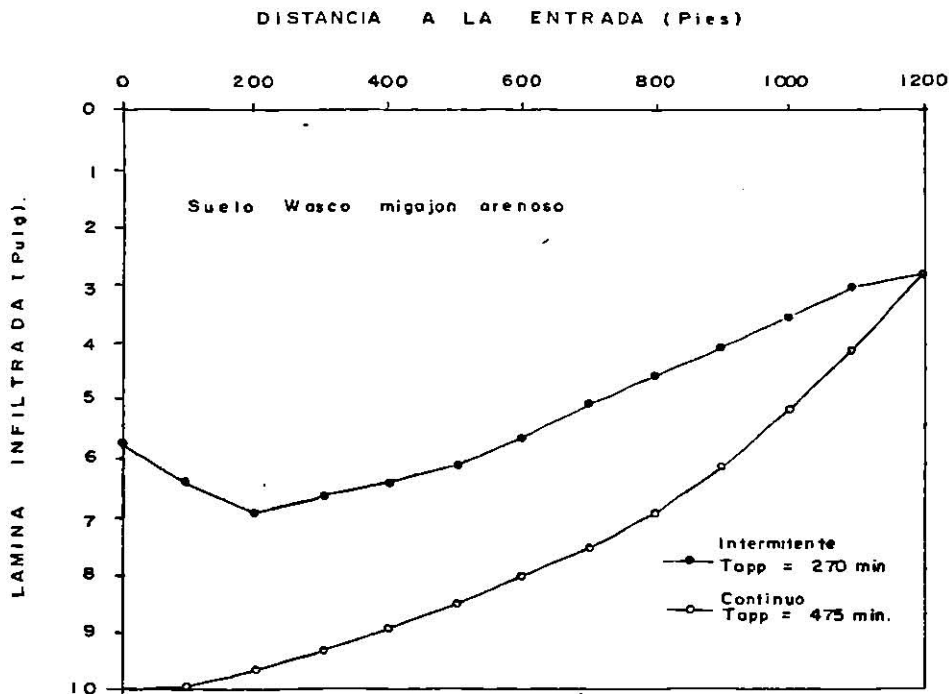


Figura 4. Distribucion de la humedad infiltrada en relacion al tiempo de aplicacion de el riego (T<sub>app</sub>) cuando los requerimientos de riego (2.75 pulg) en el extremo final del surco han sido satisfechos.

Tabla 2. Datos operacionales para cada variable evaluada.

| Variable  | Máscro<br>Migajón arenoso | Panoche<br>Migajón arcilloso |
|---|---------------------------|------------------------------|
| Porcentaje de infiltración básico<br>(Pulg/hora)  | 0.91                      | 0.53                         |
| Longitud del campo<br>(pies)                      | 1200                      | 1200                         |
| Requerimientos de riego (pulg)                    | 8                         | 8                            |
| Gasto (gal/min)<br>intermitente                   | 40                        | 35                           |
| Continuo  | 40                        | 31                           |
| Tiempo de aplicación total (min.)<br>Intermitente | 270                       | 492                          |
| Continuo  | 475                       | 1190                         |
| Tiempo de abierto para la intermitencia (min.)    |                           |                              |
| Avance  |                           |                              |
| 1   | 24                        | 27                           |
| 2   | 32                        | 36                           |
| 3   | 40                        | 45                           |
| 4   | 48                        | 54                           |
| 5   | 56                        | 63                           |
| 6   | 70                        | 75                           |
| 7   | --                        | 72                           |
| 8   | --                        | 120                          |
| Postavance  | 42                        | 45                           |

Tabla 3. Parámetros de manejo del riego

| Caso                            | Vasto                               |      | Panoche                               |      |
|---------------------------------|-------------------------------------|------|---------------------------------------|------|
|                                 | Migajón arenoso<br>Interm. Continuo |      | Migajón arcilloso<br>Interm. Continuo |      |
| Tiempo de aplicación (minutos)  | 270                                 | 440  | 492                                   | 868  |
| Relación de volúmen (minutos)   | 0.61                                | 0.61 | 0.57                                  | 0.57 |
| Lámina almacenada (pulg)        | 2.75                                | 2.75 | 7.87                                  | 7.87 |
| Percolación (pulg)              | 2.54                                | 4.87 | 2.41                                  | 5.69 |
| Escorrimento (pulg)             | 0.03                                | 0.10 | 1.44                                  | 0.65 |
| Eficiencia de aplicación (%)    | 60.4                                | 35.5 | 67.1                                  | 55.4 |
| Uniformidad de distribución (%) | 55.6                                | 57.2 | 81.4                                  | 70.8 |

Relación de volúmen = Vol. intermitente/Vol. continuo.

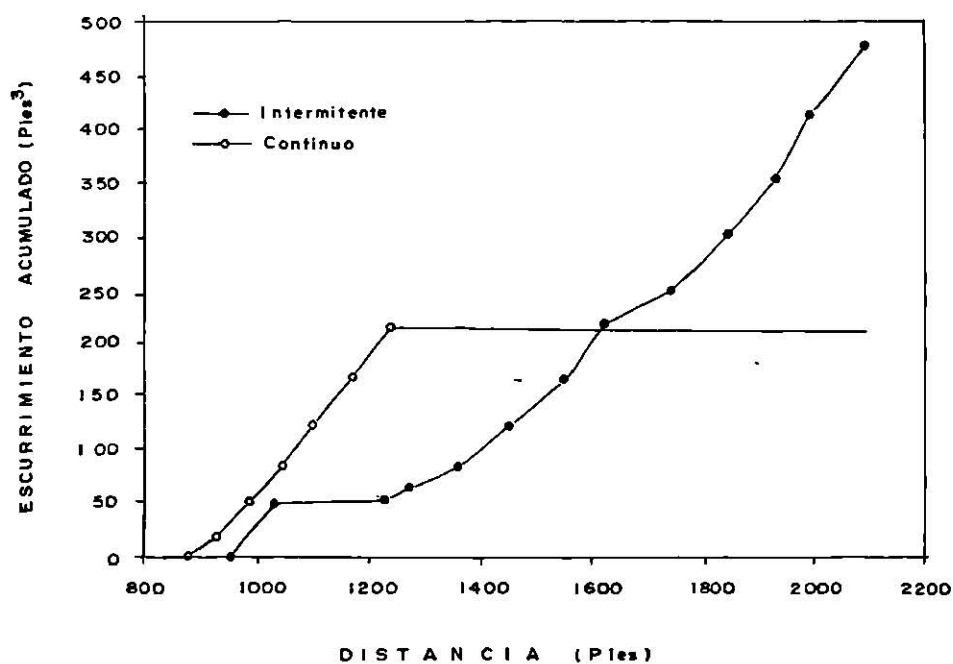


Figura 5. Escorrimento acumulado, que muestra que el escurrimiento es menor con flujo intermitente.

to constante de la aplicación del agua. Sin embargo, en el siguiente subciclo de siembra se hicieron pruebas de infiltración y muestreo del perfil de humedad en las cabeceras y al final de los surcos; la humedad llegó en las cabeceras a una profundidad de 40 cm y a 25 cm al final del surco. Se observó -- que con el gasto disponible, se regó el doble de la superficie, disminuyéndose el tiempo de bombeo (Seminario Internacional Sobre Tecnificación y Uso Racional de la Energía, SARH, 1989).

F.T. Izuno y T.K. Podmore (1986), realizaron estudios para optimizar el manejo del riego intermitente; con datos obtenidos por Izuno (1984) por más de dos años, en un suelo migajón arcillo limoso, con una pendiente de 0.006 m/m. Los objetivos fueron: (1) simular y estudiar matemáticamente los resultados de un riego intermitente en un campo hipotético, para determinar el número óptimo de intermitencias necesarias para -- completar la fase de avance del riego. Los criterios usados -- para determinar el tratamiento ideal, fueron la uniformidad de aplicación, el tiempo para recorrer la longitud total, y el volumen de agua aplicado. El objetivo número (2) fué presentar un procedimiento por medio del cual un modelo de simulación -- por computadora y datos de campo pueden ser usados para determinar cuales son las mejores opciones de manejo, para un riego particular.

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Resultados de la variación del gasto (Qentrada) y tiempo del ciclo con flujo (Tabierto) en el número de intermitencias requeridas para avanzar hasta el final del campo, agua total aplicada y uniformidad en la infiltración durante el avance de un riego intermitente.

| Q ent.<br>(L/seg) | T abierto<br>(Min) | Tratamiento             |                           |       |
|-------------------|--------------------|-------------------------|---------------------------|-------|
|                   |                    | Nº de<br>intermitencias | Volumen total<br>aplicado | UCC   |
| 0.95              | 60                 | 5                       | 17.1                      | 0.564 |
| 1.3               | 45                 | 5                       | 17.1                      | 0.840 |
| 1.6               | 36                 | 3                       | 10.4                      | 0.888 |
| 1.9               | 30                 | 3                       | 10.3                      | 0.910 |
| 2.2               | 26                 | 3                       | 10.3                      | 0.933 |
| 2.5               | 23                 | 2                       | 6.9                       | 0.938 |
| 2.9               | 20                 | 2                       | 7.0                       | 0.942 |
| 1.9(c)            | 110                | 1                       | 12.5                      | 0.749 |

UCC = Coeficiente de uniformidad de Christiansen calculado al completar el avance, representando una distribución de la lámina infiltrada al extremo de la longitud del surco.

$$UCC = \bar{x} - \frac{\sum (z_i - \bar{z})}{N_z}$$

donde Z es la lámina infiltrada en el punto i, N es el número de datos,  $\bar{z}$  es la lámina infiltrada promedio en el surco.

(c) = Riego continuo.

Con los resultados obtenidos se demostró que los riegos intermitentes pueden ser mejor manejados aplicando el riego en dos partes, fase de avance y fase de postavance. Para completar la fase de avance se recomienda utilizar el gasto máximo no erosivo. Se continua la fase de avance con una tasa de aplica-

ción continua, tal que reduzca el escurrimiento, mientras se satisfacen los requerimientos hídricos.

El número óptimo de intermitencias, tiempo del ciclo, y gasto apropiado, se pueden determinar usando el modelo de simulación del riego intermitente; modelo de ola cinemática.

F.T. Izuno, T.F. Podmore, y H.R. Duke (1984), caracterizaron el desarrollo de la infiltración bajo flujo intermitente. El tipo de suelo donde fueron tomados los datos, fué un migajón arcillo arenoso, con capas de arcillas compactas y arcillas con gravas; con una pendiente de 0.006 m/m. Las pruebas de avance se tomaron en intervalos de 25 m de longitud. Las pruebas de infiltración se condujeron en un surco infiltrómetro bloqueado; tanto para riego intermitente como para riego continuo.

Los resultados obtenidos indican que para lograr la fase de avance, se requiere de menos tiempo en el riego intermitente en surcos, que en aquellos riegos continuos; usando un gasto instantáneo igual (Figura 6). Se observó un avance más acelerado en un surco no compactado que en un surco compactado, requiriéndose para los primeros tan solo del 28% cuando mucho del agua aplicada, a la requerida para un riego continuo en surcos compactados.

La relación de ciclo usada fué de 0.5, la comúnmente usada. La existencia de una transición en la tasa de infiltración para las intermitencias, puede ser determinada por una regresión lineal de los datos de avance, para los incrementos de longitud campo abajo.

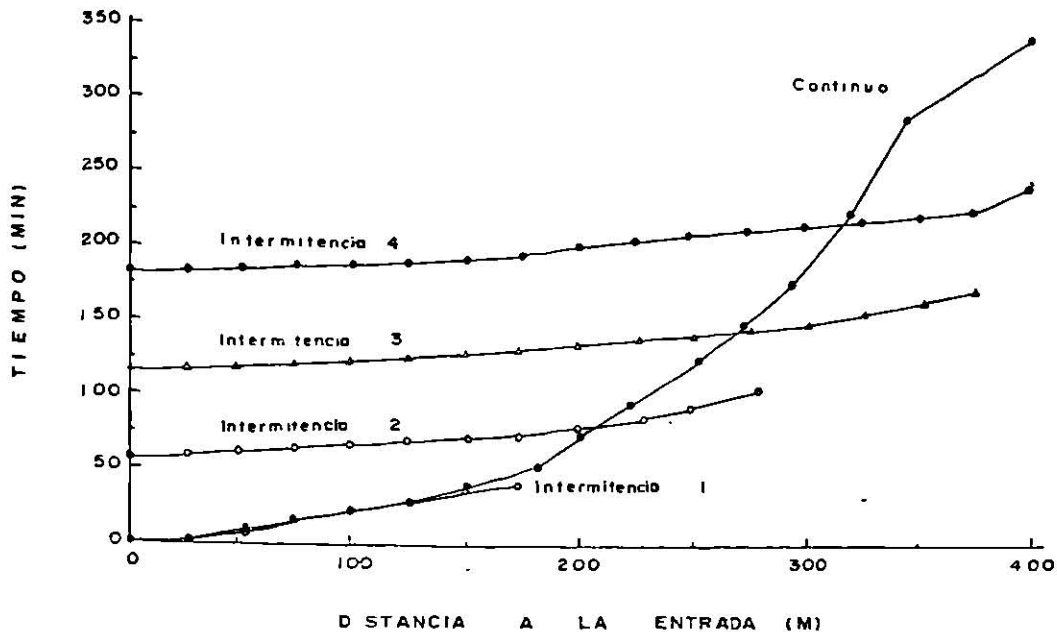


Figura 6 Comparación de las tasas de avance continuas e intermitentes con un gasto instantáneo de entrada igual: 1983 Riego 2, surcos suaves S-54S y C-5S.

La existencia de esta transición en el régimen de infiltración, puede ser explicada por una discusión del perímetro mojado.

Una de las características del riego intermitente, es, que durante el tiempo sin flujo, el avance continúa campo abajo, simultáneamente con la recesión aguas arriba. El avance ocurre progresivamente en láminas de flujo menores que aquellas que habrían ocurrido con el flujo que ha continuado. Las láminas de flujo menores, corresponden a perímetros mojados menores, más pequeños, con menos carga; resultando en una reducción de la infiltración. Durante el nuevo ciclo de humedecimiento, la infiltración aparentemente ha sido reducida por el primer ciclo de



humedecimiento y deshumedecimiento. Consecuentemente, resultan durante la segunda intermitencia, láminas de flujo y perímetros mojados más grandes. Lo anterior implica que la infiltración en cualquier punto de esta parte del surco, es una combinación de la tasa de infiltración grandemente reducida, que ocurre a través de la sección del surco previamente humedecida, y la alta tasa de infiltración que ocurre en la parte más alta de los lomos del surco; que dan por resultado un incremento en el perímetro mojado.

Las diferencias en los volúmenes infiltrados entre los riegos en surcos con flujo continuo e intermitente se muestran en la figura (7). Ambas tasas de infiltración siguen la misma reducción dependiente del tiempo, durante la primera intermitencia. Sin embargo, mientras la curva de la tasa continua,

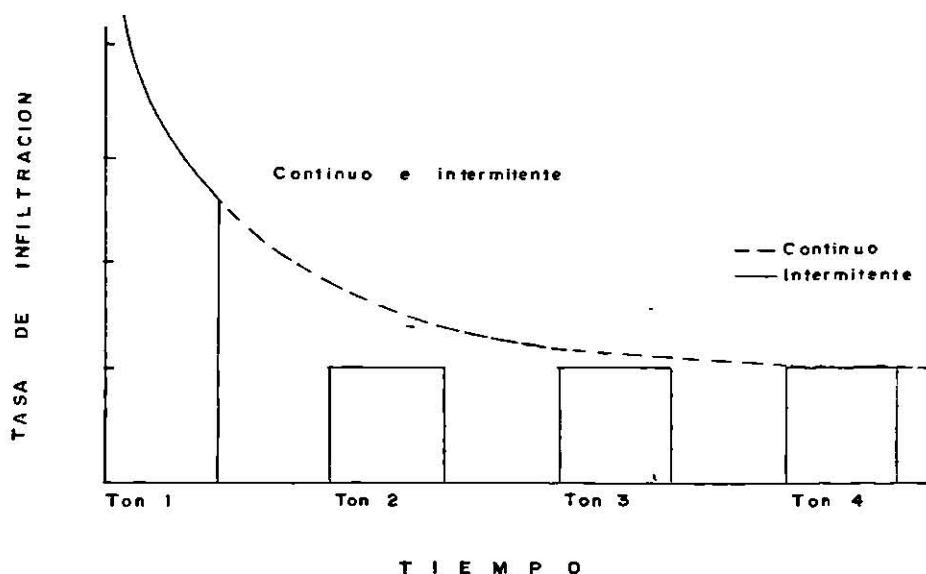


Figura 7. Diferencias en el volumen infiltrado en una base de tiempo transcurrido durante el avance bajo riego intermitente.

desciende hasta la tasa básica después de grandes tiempos, la tasa de infiltración intermitente desciende hasta la tasa básica después de un período de humedecimiento y secado.

F.T. Izuno; T.H. Podmore, y H.R. Duke (1984), concluyen que ocurren tres fases de infiltración distintas bajo flujo intermitente (Figura 8). Estas fases son: (a) infiltración en un suelo inicialmente seco, (b) infiltración dentro de un suelo previamente mojado, y (c) un régimen de transición en la infiltración; causada por el incremento en el perímetro mojado, que ocurre después del primer humedecimiento de una sección del surco.

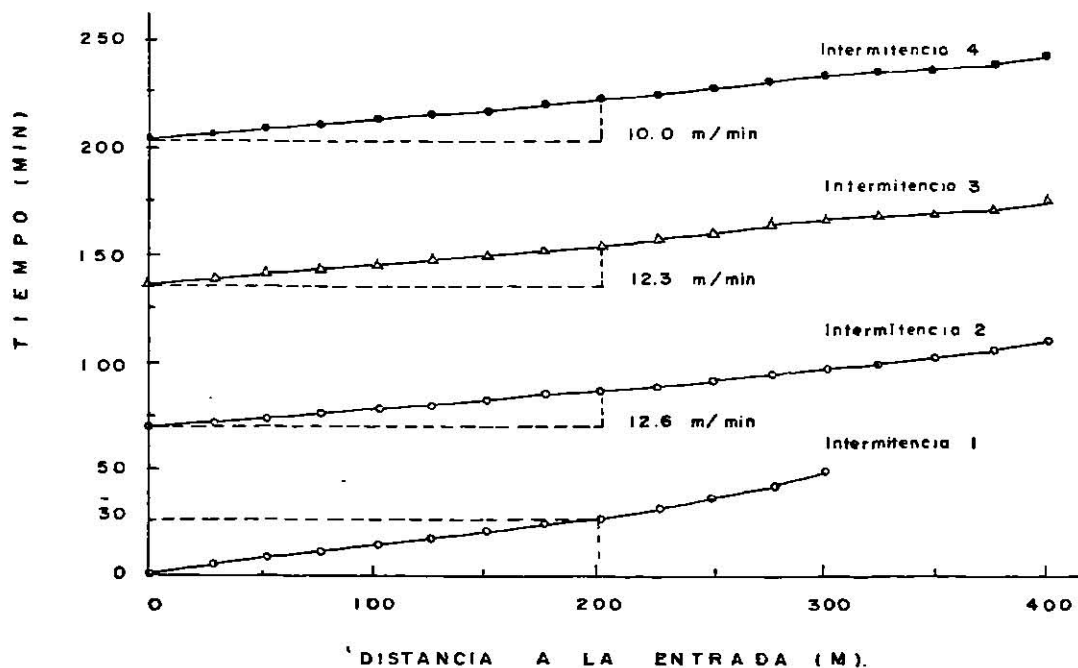


Figura 8. Curva típica de la tasa de avance intermitente que muestra los tres regímenes de infiltración: 1983, surco duro S-52H.

Otra conclusión es que debido a la relación entre las tasas de infiltración y avance, el riego intermitente reduce las diferencias en la tasa de avance entre surcos con diferentes niveles de compactación. El fenómeno de la reducción de la infiltración bajo riego intermitente, no es acumulativo con riegos sucesivos, en una temporada.

R. Teslizlaf, R.L. Elliot, J.C. Garton (1987), en un estudio realizado para determinar el comportamiento de la infiltración bajo flujo intermitente en relación a una aplicación continua, en tres tipos de suelo diferentes en Oklahoma, usando un infiltrómetro de recirculación en el surco. Los tres tipos de suelos fueron: (1) migajón teller con una pendiente de 1.13%, (2) migajón arenoso carwile fino con una pendiente promedio de 0.60%, (3) migajón arcilloso con una pendiente promedio de --- 0.58%.

Se seleccionaron tres tratamientos intermitentes con tiempos por ciclo de 20, 40 y 60 min. En cada caso la relación -- del ciclo fué de 0.5. El testigo fué el tratamiento de flujo continuo.

Las pruebas fueron realizadas en surcos que no han recibido tráfico de maquinaria. La sección de prueba de infiltración --- fué de 3.05 m para el suelo migajón arenoso y de 5.0 m para los otros dos tipos de suelo.

Los resultados indican que la intermitencia reduce el --- C.I.B. de un tercio a dos tercios comparando a los tratamientos continuos (tabla 5 ). Las mayores reducciones fueron ob--

servadas en el suelo migajón arenoso fino. Hay una pequeña va,  
riación en la tasa de infiltración para los diferentes suelos.

Loa autores anteriores segun los resultados obtenidos de-  
su estudio concluyen lo siguiente:

- 1.- El flujo intermitente causa la reducción del C.I.P. de un-  
tercio o dos tercios de los tres suelos estudiados a pesar  
de que los tiempos de oportunidad para los tratamientos --  
son mas cortos.
- 2.- El suelo migajón arenoso muestra una reducción más grande-  
que los suelos migajón y migajón arcilloso.

Tabla 5. Tasas de infiltración medidas (mm/h) y tiempos de ---  
oportunidad correspondiente (min.) al final de las --  
pruebas con el infiltrómetro.

| Tratamiento |                 | Sitio 1<br>(migajón) | Sitio 2<br>(migajón arenoso fino) | Sitio 3<br>(migajón arcilloso) |
|-------------|-----------------|----------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| TC          | Rep. 1          | 15                   | 25                                | 21                             |
|             | Rep. 2          | 15                   | 25                                | 23                             |
|             | Media           | 15                   | 25                                | 22                             |
|             | Tiempo de opor. | 158                  | 178                               | 158                            |
| T1          | Rep. 1          | 9                    | 10                                | 13                             |
|             | Rep. 2          | 9                    | 5                                 | 13                             |
|             | Media           | 9                    | 8                                 | 13                             |
|             | Tiempo de opor. | 99                   | 99                                | 99                             |
| T2          | Rep. 1          | 10                   | 10                                | 16                             |
|             | Rep. 2          | 9                    | 10                                | 13                             |
|             | Media           | 10                   | 10                                | 14                             |
|             | Tiempo de opor. | 118                  | 118                               | 138                            |
| T3          | Rep. 1          | 6                    | 10                                | 16                             |
|             | Rep. 2          | 10                   | 10                                | 11                             |
|             | Media           | 8                    | 10                                | 14                             |
|             | Tiempo de opor. | 118                  | 118                               | 148                            |

#### IV. METODOS DE EVALUACION DEL RIEGO EN SURCOS POR FIUJO INTERMITENTE

##### 4.0.0. Parámetros de evaluación.

Merriam et al. (1983) (citado por P.G. McCornick, F. R. Duke y T.F. Podmore; 1987), definieron tres normas requeridas para realizar la evaluación de cualquier sistema de riego; (a) la eficiencia de aplicación potencial, (b) eficiencia de aplicación actual y, (c) uniformidad de distribución.

Eficiencia de aplicación ( $E_a$ ).- Se define como el valor de la lámina de agua de riego promedio infiltrada y almacenada en la zona radicular, en relación a la lámina de riego promedio aplicada.

$$E_a = \frac{\text{Lámina de riego infiltrada en la zona radicular}}{\text{Lámina de riego promedio aplicada}} \dots (12)$$

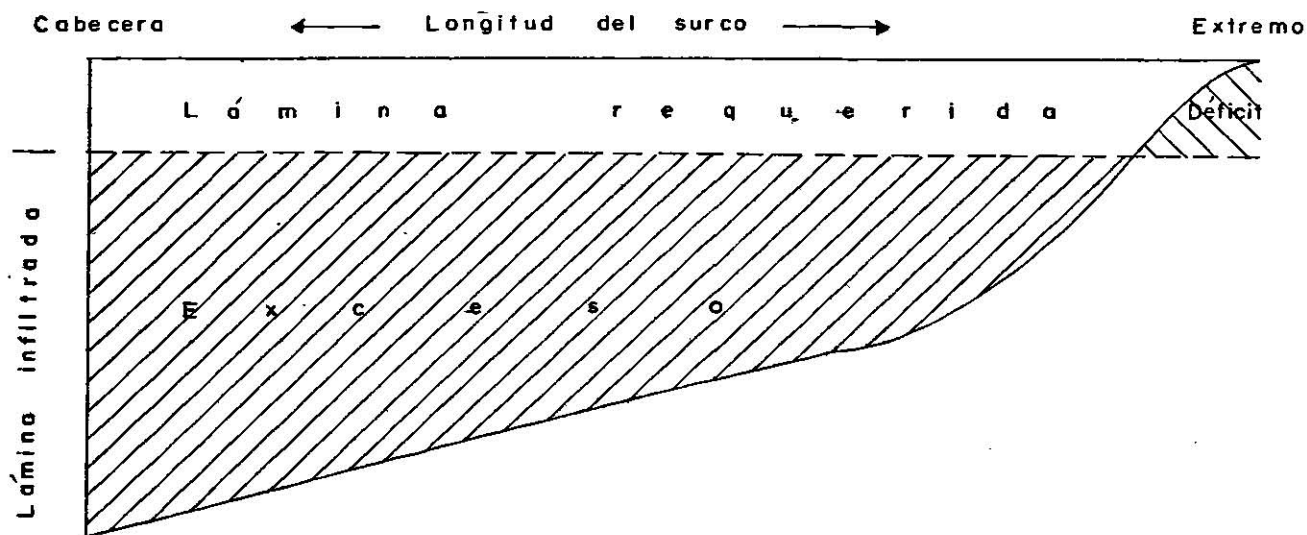


Figura 9. Excesos y déficits en la lámina infiltrada durante la fase de avance.

Uniformidad de distribución (UP). - Se define como el valor promedio de la lámina de riego infiltrada en el cuarto inferior, en relación a la lámina promedio de agua infiltrada.

$$UP = \frac{\text{Lámina de riego promedio sobre el cuarto inferior}}{\text{Lámina de riego promedio infiltrada sobre el surco}} \dots (13)$$

Las tasas de avance aceleradas son bien definidas en el flujo intermitente, sin embargo, algunos estudios han encontrado que esta técnica no provee de ninguna mejora a sistemas ya existentes. La falta de resultados positivos con flujo intermitente, parece ocurrir más a menudo en texturas finas, suelos agrietados, y suelos con problemas de drenaje, como los estudiados en California (David A. Coldhamer, Mohammad, H. Aljemi, R.C. Phene; 1987).

#### 4.1.0. Evaluación convencional continua.

Los autores anteriores, en estudios realizados, evalúan el funcionamiento del flujo intermitente, comparándola con la aplicación continua convencional, usando la siguiente metodología:

Se usó tubería de compuerta equipada con una válvula T tipo mariposa, y otra tubería para operar continuamente.

El gasto que entra y sale a través del campo durante el riego, es medido con aforadores o vertedores. Se determinó el coeficiente de infiltración básico, calculando la diferencia entre el gasto que entra y el gasto que sale al final del riego. El avance y la recesión se miden registrando el arribo y-

la desaparición del agua, en intervalos de 15 m a 30 m a través del campo. El tiempo de oportunidad, se calcula mediante la diferencia entre los valores del tiempo de avance y el tiempo de recesión.

$$\text{Tiempo de oportunidad} = \text{Tiempo de recesión} - \text{Tiempo de avance} \dots\dots\dots (14)$$

Los valores del tiempo estan dados en minutos.

Se determina la sección transversal durante el avance del gasto, a diferentes distancias, en cada surco observado. La infiltración se describe mediante el método de los dos puntos de Wilker, para flujo continuo. La figura 10 muestra la esquematización de este método.

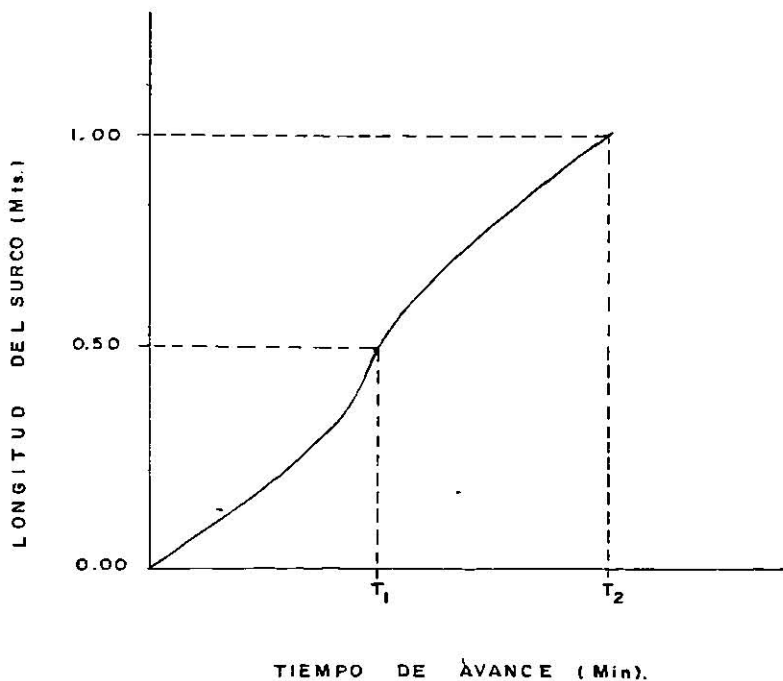


Figura 10. Esquematización del método de los dos puntos para determinar la función de avance.

Teniendo como la función de avance a,

$$x = pt^R \dots\dots\dots (15)$$

donde X es la distancia avanzada al tiempo t, p es el coeficiente empírico de la función de avance; que depende de la pendiente, gasto, características hidráulicas del flujo del agua, rugosidad de la superficie; R es el exponente empírico de la función de avance, con valores de  $0 < R < 1$ , relacionado a las características físicas del suelo expresadas en la función  $I = Kt^n$ .

Para el método se requiere de dos tiempos medidos en todo el avance. El tiempo 1,  $t_1$ , se determina gráficamente de la curva de avance, el tiempo 2 es el tiempo final del avance.

La longitud total se toma como una unidad, por lo tanto:

$$t_1 = 0.5 \quad X_1 = 0.5$$

$$t_2 = 1.0 \quad X_2 = 1.0$$

entonces, de  $X = pt^R$  se deriva,

$$X_1 = pt_1^R \dots\dots\dots (16)$$

$$X_2 = pt_2^R \dots\dots\dots (17)$$

linealizando la ecuación:

$$\ln X_1 = \ln p + R \ln t_1 \dots\dots\dots (18)$$

$$\ln X_2 = \ln p + R \ln t_2 \dots\dots\dots (19)$$

$$\ln(0.5) = \ln p + R \ln t_1 \dots\dots\dots (20)$$

$$\ln(1.0) = \ln p + R \ln t_2 \dots\dots\dots (21)$$

Restando (20) de (21) se tiene:



$$\ln (0.5) = R (\ln t_1 - \ln t_2) \dots \dots \dots (22)$$

$$\ln (0.5) = R \ln \left( \frac{t_1}{t_2} \right) \dots \dots \dots (23)$$

$$R = \frac{\ln (0.5)}{\ln \left( \frac{t_1}{t_2} \right)} \dots \dots \dots (24)$$

Para obtener R, se reemplaza el valor de t, en cualquiera de las ecuaciones (16) ó (17).

Se usan los datos de tiempo de oportunidad de infiltración, para calcular la distribución del agua infiltrada bajo ambos métodos de riego.

#### 4.2.0. Procedimiento de evaluación simplificado.

P.G. McCornick, H.R. Duke, y T.H. Podmore (1987), presentan un procedimiento de evaluación para el riego en surcos con flujo intermitente; seleccionado como el más adecuado de siete técnicas propuestas.

Este procedimiento requiere de la determinación del tiempo en el cual el agua alcanza el final de una sección del surco previamente mojada, la distancia del flujo interrumpido al tiempo de corte), y la máxima distancia avanzada (coleo) para cada intermitencia.

Los parámetros usados son, el tamaño del gasto en el surco, el número de la intermitencia durante la fase de avance, la duración de la intermitencia (tiempo con flujo), y el tiempo

po entre intermitencias (tiempo sin flujo).

La técnica propuesta, en lugar de seguir un avance sobre el surco; como para un riego continuo, sigue un determinado número de avances, hasta que el agua alcance el final del surco. La técnica es una adaptación del procedimiento de evaluación de riego continuo, propuesta por Merriam y Keller en 1978.

### Infiltración.

Las funciones usadas para la determinación de la lámina infiltrada, son comúnmente la función de Kostiaikov basada en el tiempo, y una modificación de la misma.

Los parámetros de infiltración pueden ser determinados de un surco bloqueado.

### Datos tomados en campo.

La secuencia del riego, incluye el tiempo de inicio de riego, el número de intermitencias, sus tiempos, y el tiempo en que finaliza el riego.

Las lecturas tomadas son: para la primera intermitencia; la distancia de avance a la mitad del tiempo dado para cada intermitencia, la distancia de avance al completar un tiempo (tiempo de corte), y la máxima distancia de avance (coleo). Con esta información se estima la función de avance.

Para las intermitencias siguientes, son registrados, el tiempo de avance para la sección seca del surco, la distancia avanzada al tiempo de corte, y la máxima distancia avanzada.

La pendiente del surco, espaciamiento y longitud, son información adicional. La relación entre la lámina de flujo y el perímetro mojado, es determinada cuando se usa el modelo de ola cinemática.

Análisis de los datos.

El tiempo de oportunidad debe ser registrado para cada intermitencia, a lo largo del surco; para lo cual se establecen las funciones de avance y recesión, para cada una.

El coeficiente de infiltración básico, es calculado como una diferencia, entre el caudal que entra al surco y el caudal que sale de un aforador, establecido campo abajo, a una distancia determinada, y la diferencia se divide entre la distancia que hay entre los dos aforadores. El valor se sustituye por  $C$ , en la ecuación de Kostiaikov modificada.

Sustituyendo los parámetros de infiltración calculados en la función de infiltración derivada, así como el tiempo de oportunidad, se tiene que:

$$Z = Kt^a \dots \dots \dots (25)$$

$$Z = K (1-a)t_c^a + Ct \dots \dots \dots (26)$$

puede ser calculada la lámina infiltrada para cada intermitencia, en cada estación. Sumando la lámina infiltrada en cada estación para las intermitencias sucesivas, se obtiene una lámina infiltrada perfil a lo largo del surco (I.ia).

$$Lia = \sum_{i=1}^n K (1-a) t_c^a + Ct \dots\dots\dots (27)$$

Esta información es usada para calcular la eficiencia de aplicación, y la uniformidad de distribución para un surco dado.

Este método de evaluación disminuye el número de datos tomados, en comparación a la evaluación usada anteriormente; y - por lo tanto, ahorra trabajo al evaluador.

## V. SIMULACION DEL RIEGO INTERMITENTE POR MODELOS MATEMATICOS

### 5.0.0. Modelo de ola cinemática.

Los parámetros usados para describir un riego intermitente, también pueden ser obtenidos a través de riegos simulados por modelos matemáticos.

Los modelos matemáticos de los procesos de riego de superficie, pueden ser clasificados en general como: (1) hidrodinámico, (2) cero inercia, (3) de ola cinemática y, (4) de balance de volumen; desarrollándose después, modelos para condiciones de riego por bordos, y modificados más tarde para sistemas de riego por melgas y surcos (W.R. Walker y A. S. Humpherys, - 1983).

La simulación del riego por surcos, requiere de tres modificaciones al análisis tradicional del riego por bordos. W.R. Walker y A.S. Humpherys (1983), basan su simulación de la infiltración bajo condiciones intermitentes en surcos, en estudios reportados de un infiltrómetro recirculante; por Malano (tesis) y Walker et al. (1982), cubriendo tres tipos de suelos, y usando el modelo de ola cinemática.

El modelo fué inicialmente desarrollado para aplicaciones hidrológicas, modificado para pendientes y bordos de libre escurrimiento.

En una sección del surco donde la descarga es relativamente constante, de ciclo a ciclo, la infiltración puede ser evaluada por dos ecuaciones de Kostiaikov-Lewis:

$$Z_c = K a + f o t \dots\dots\dots (28)$$

$$Z_s = K' a' + f' o t \dots\dots\dots (29)$$

donde  $Z_c$  y  $Z_s$  son los volúmenes infiltrados por unidad de longitud del surco (L) seco y condiciones de flujo continuo en mojado; y para condiciones de flujo intermitente, respectivamente. Los parámetros  $K$ ,  $K'$ ,  $f_o$  y  $f'o$ , son parámetros empíricos particulares para el tipo de suelo, y el efecto de humedecimiento y deshumedecimiento. Para la ecuación (28), el tiempo de oportunidad,  $t$ , es acumulativo.

Según Malano (tesis) (citado por W.R. Walker y A.S. Humpherys, 1983), la infiltración puede ser descrita por una función intermedia entre la ecuación (28) y (29), para la segunda intermitencia.

El modelo usado por W.R. Walker y A.S. Humpherys, (1983), usa la ecuación (28) para las secciones secas, la ecuación (29) para la tercera y posteriores intermitencias; y una ecuación de transición para la segunda intermitencia.

Siendo  $\bar{X}_{i-2}$  y  $\bar{X}_{i-1}$ , las distancias de avance de las intermitencias  $i-2$  e  $i-1$ , la función se escribe como sigue:

$$T = \left( \frac{\bar{X}_{i-1} - X}{\bar{X}_{i-1} - \bar{X}_{i-2}} \right)^\lambda, \quad \bar{X}_{i-2} \leq X \leq \bar{X}_{i-1}; \quad T=0$$

$$X \leq \bar{X}_{i-2}, \quad \text{ó} \quad X > \bar{X}_{i-1} \dots\dots\dots (30)$$

donde  $X$  es la localización del punto de interés, calculado durante el lapso de tiempo  $i$ , y es una constante empírica de distribución no lineal.

Los coeficientes para la ecuación de infiltración para la función de transición, son:

$$K'' = K + (K-K')t \dots\dots\dots (31)$$

$$a'' = a + (a+a')t \dots\dots\dots (32)$$

$$f_0'' = f_0 + (f_0-f_0')t \dots\dots\dots (33)$$

Los valores de  $\lambda$  para la ecuación (30) están dentro de un rango de 2-5.

Las ecuaciones de infiltración, tales como la ecuación -- (28), se basan en el tiempo de oportunidad de infiltración acumulado. Por lo tanto, el volumen infiltrado sumado por una intermitencia, puede ser calculado como una diferencia.

$$Z(t) = Z(\bar{t}+t) - Z(\bar{t}) \dots\dots\dots (34)$$

donde  $\bar{t}$  es el tiempo de oportunidad anterior a la intermitencia actual, y  $t$  es el tiempo de oportunidad creado por la presente intermitencia.

El modelo en un resultado de primer orden resulta:

$$\bar{Q}(x+\delta x;t) - \bar{Q}(x,t)\delta t + \bar{A}(x,t,+\delta t) - \bar{A}(x,t)\delta t + \bar{Z}(x,t+\delta t) - \bar{Z}(x,t)\delta x = 0 \dots\dots\dots (35)$$

La barra sobre las variables del gasto, indican el valor del tiempo promedio sobre el intervalo  $t$ , y las variables  $Z$  y  $A$  tildeadas son promediadas espacialmente sobre la distancia  $x$ .

W.R. Walker y A.S. Humpherys (1983), usando el modelo de-

ola cinemática para simular un riego intermitente , y usando datos de campo para comprobarlo, concluir que el modelo puede ser una herramienta satisfactoria de predicción del avance, in filtración y escurrimiento, para sistemas de riego en surcos - con pendiente. .



## VI. EQUIPO DESARROLLADO PARA RIEGO E INFILTRACION POR FLUJO INTERMITENTE

### 6.0.C.0. Equipo para riego por flujo intermitente.

El equipo comercial disponible, así como el equipo desarrollado por The Western Regional Research Project W-163 en Utah, se separan en tres categorías, usando cada uno equipo particular apropiado.

### 6.0.1.0. Sistemas de tuberías con compuertas de arreglo ranurado.

Estos sistemas usan un diseño convencional de compuertas en un arreglo ranurado, para distribuir el agua en surcos individuales. La tubería de compuertas para un arreglo de intermitencia, está dividida en dos bloques de surcos de ancho igual, con una válvula automática para la intermitencia entre los dos bloques en el centro de la línea de la tubería. La válvula tiene una configuración "T"; y el flujo de agua es desviado alternadamente de una sección de la tubería a otra (figura 11).

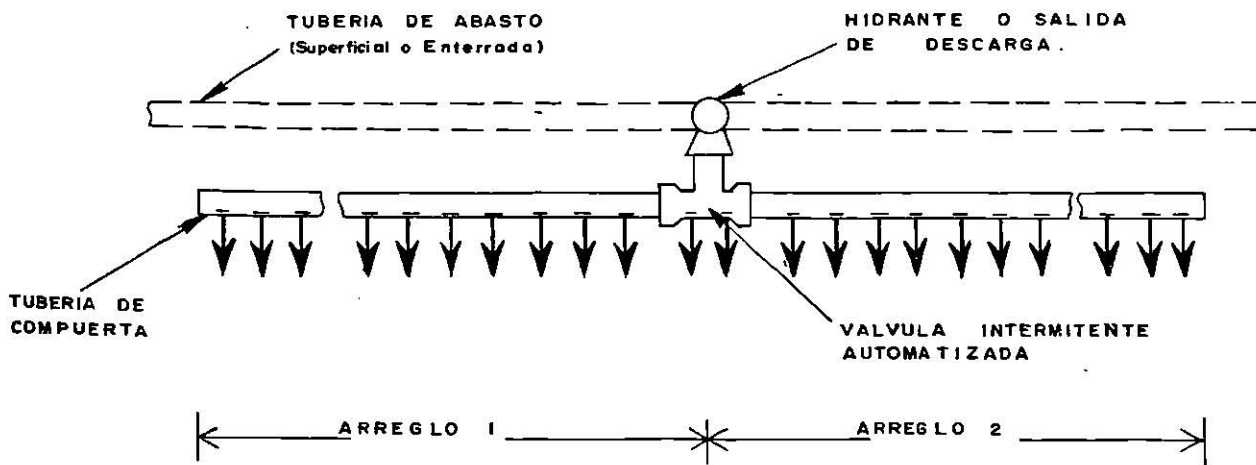


Figura 11. Diagrama del sistema de tubería de compuertas de arreglo ranurado.

Las válvulas automáticas para estos sistemas son, ya sea válvulas operadas por agua o aire, o válvulas mecánicas (figuras 13, 14, 15 y 16).

#### 6.0.2.0. Sistemas de tubería sencilla.

Estos sistemas usan una línea de tubería tanto para abastecer como para conducir el agua entre los arreglos y para distribuir el agua a través de las salidas de la tubería para los surcos en forma individual (figura 12).

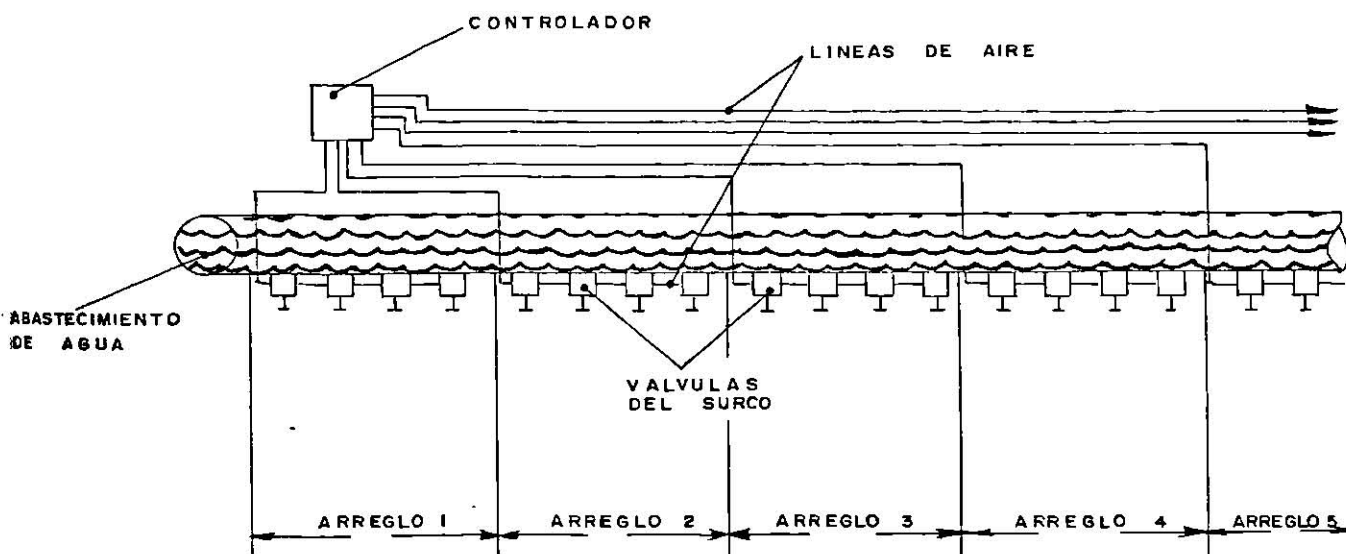


Figura 12. Diseño esquemático de sistemas intermitentes con -- válvulas de un solo surco y líneas de abasto de --- agua simples.

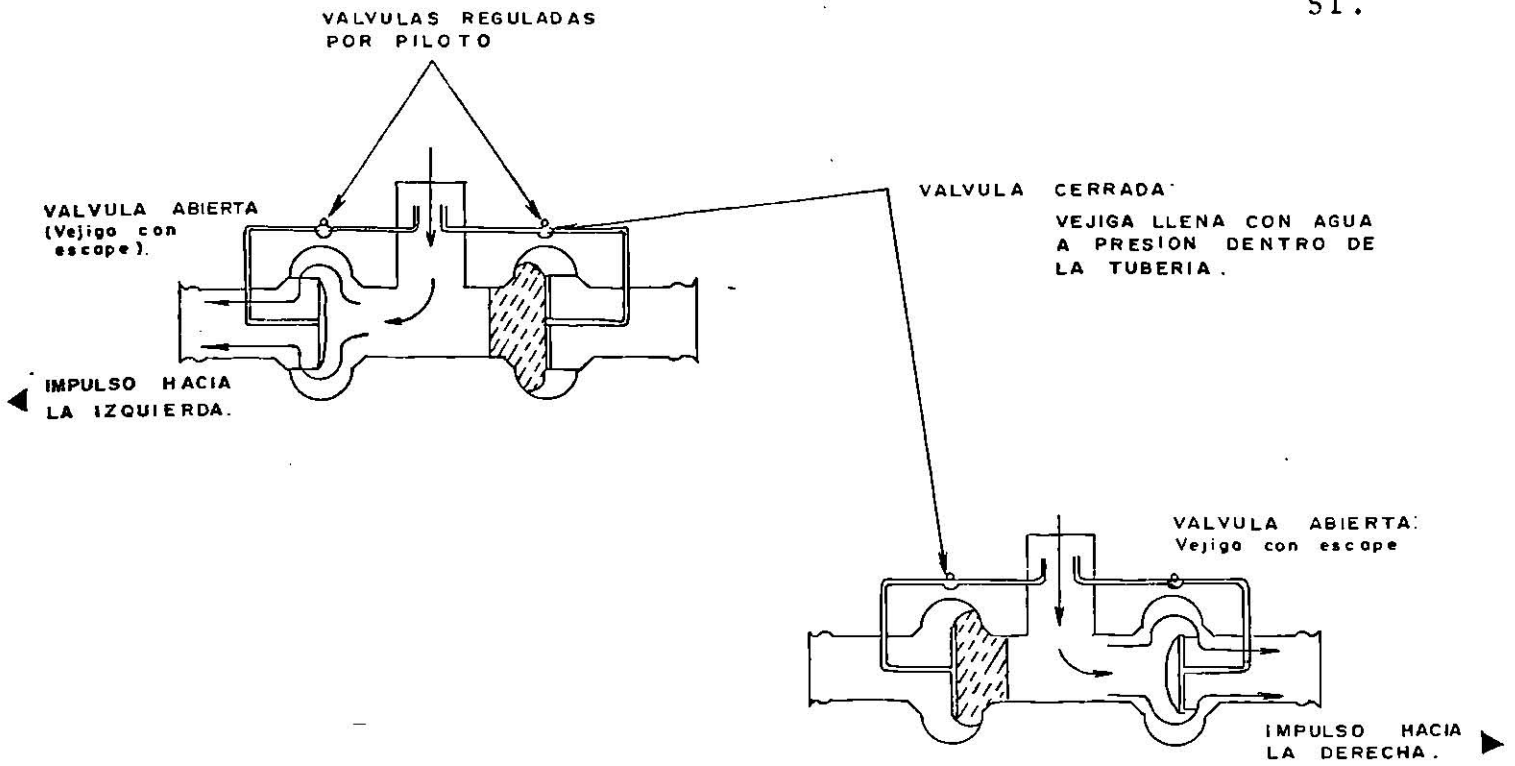


Figura 13. Válvulas de configuración "T" operadas por agua.

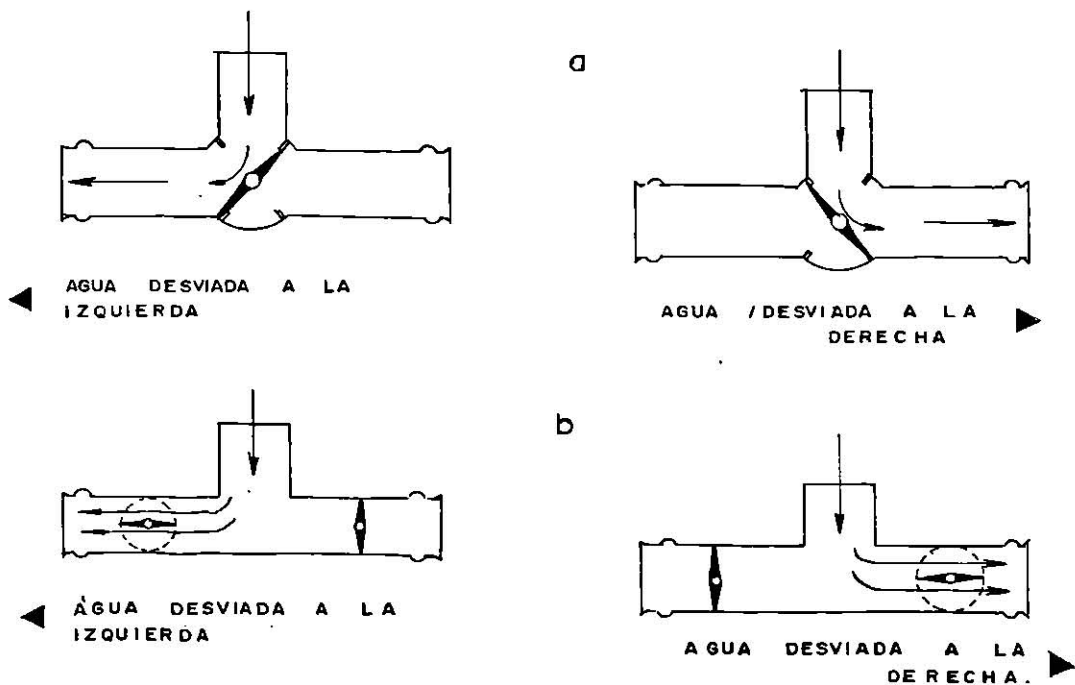


Figura 14. Válvulas mecánicas tipo mariposa: (a) válvulas de disco sencillo, y (b) válvulas de disco doble.

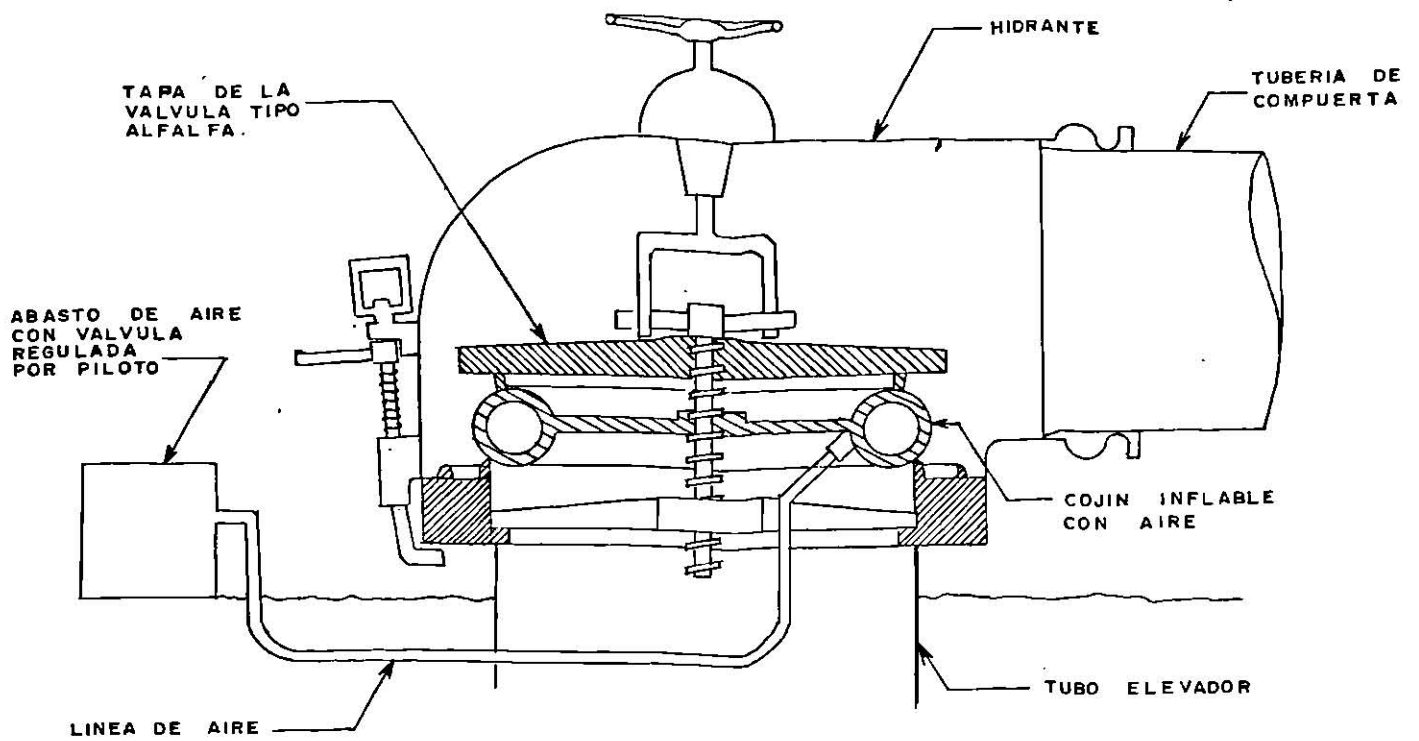


Figura 15. Válvula de riego operada con aire, con un diafragma en anillo, instalado entre un asiento y la tapa de la válvula alfalva.

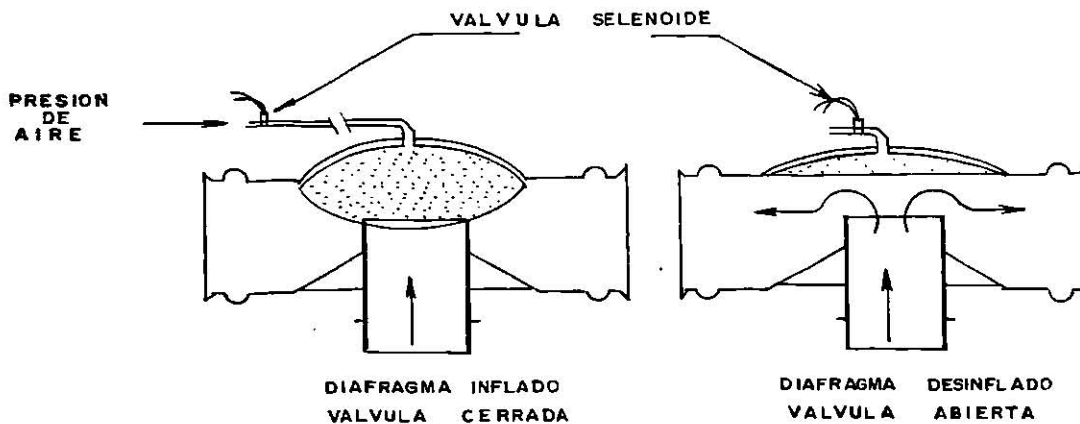


Figura 16. Válvula comercial autoencendida con un diafragma inflado por aire.

Sistema para regular la válvula simple del surco.

El sistema usa salidas automáticas en forma individual, - una para cada surco, operadas al mismo tiempo, en grupos o bloques.

#### 6.0.2.1. Cablegación.

La cablegación es un sistema relativamente nuevo, que usa una sola tubería de mayor tamaño, que se ubica con una pendiente precisa, de tal forma que el agua fluye abajo de las salidas de la tubería. Un tapón en movimiento insertado en la tubería y sujeto a un cable, revisa el flujo del agua, y provoca que fluya desde las salidas (figura 17). El sistema de cables es modificado para lograr el flujo intermitente; el impulso puede completarse por el movimiento del tapón, que rápidamente cruza el campo varias veces (figura 18).

El equipo principal para este sistema incluye tubería con salidas ajustables, tapón viajero, cable, y un mecanismo para controlar la velocidad del tapón. La mayoría de los cables son de polipropileno de 3 mm a 6 mm de diámetro.

Los tipos de válvulas usadas en este sistema se muestran en las figuras 19 y 20.

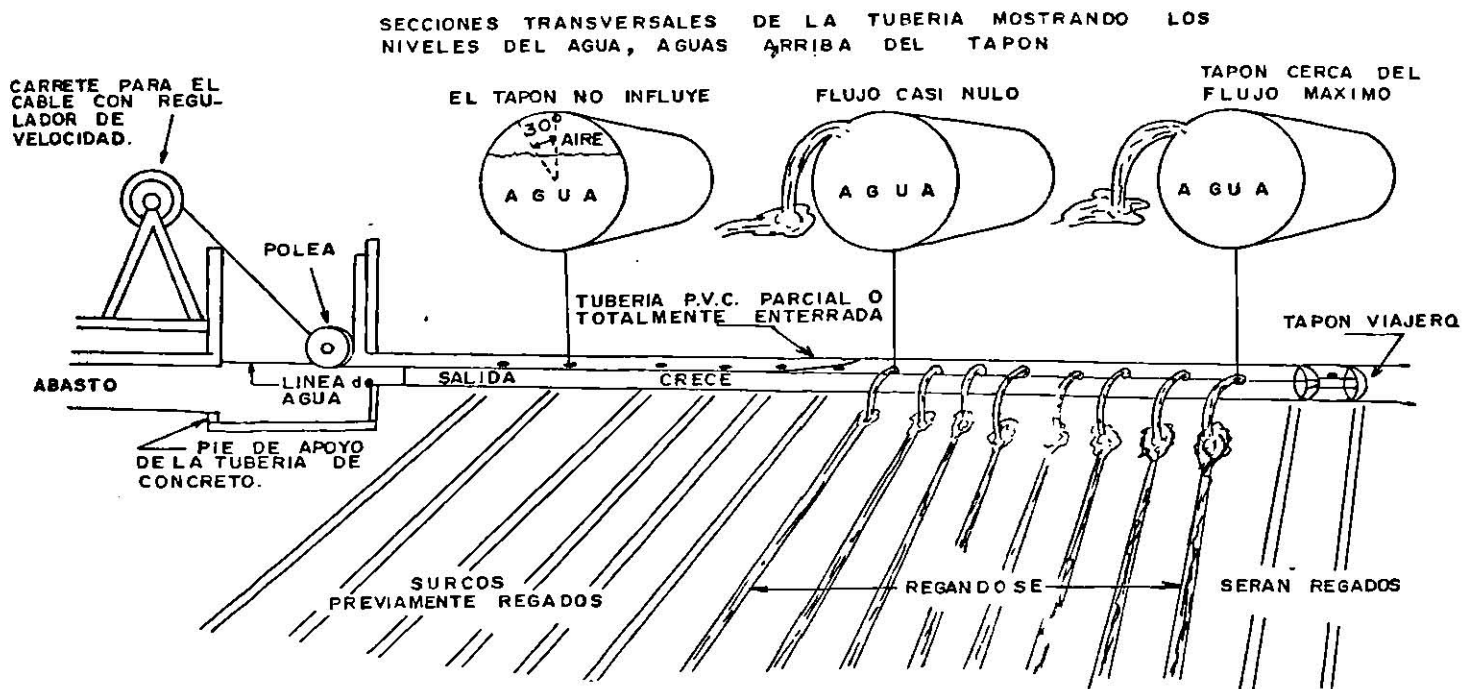
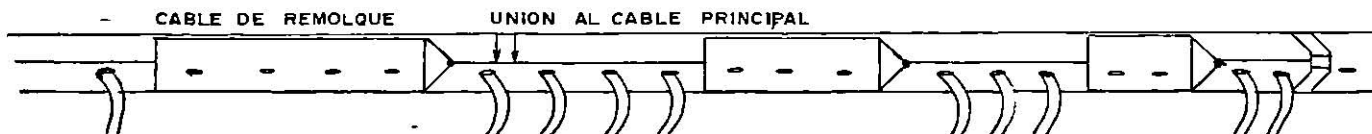
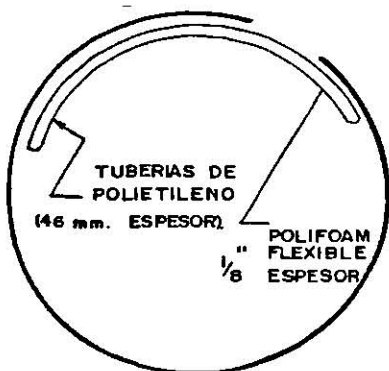


Figura 17. Esquema del sistema de cablegación que usa un tapón viajero en el interior de la tubería.

VISTA SUPERIOR DE LA LINEA DE CABLEGACION CON TRES CORTINAS (SIN ESCALA).



VISTA DE LA SECCION TRANSVERSAL



PLACA DE REMOLQUE Y ACCESORIOS PARA UN CABLE Y CORTINAS DE FLOTACION.

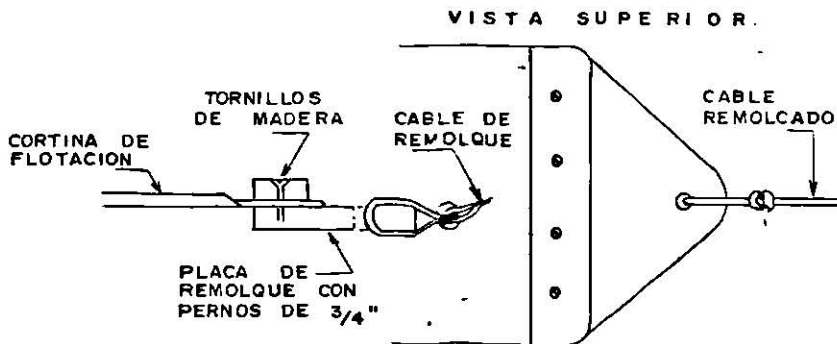


Figura 18. Modificación del sistema de cablegación para proporcionar riego con flujo intermitente.

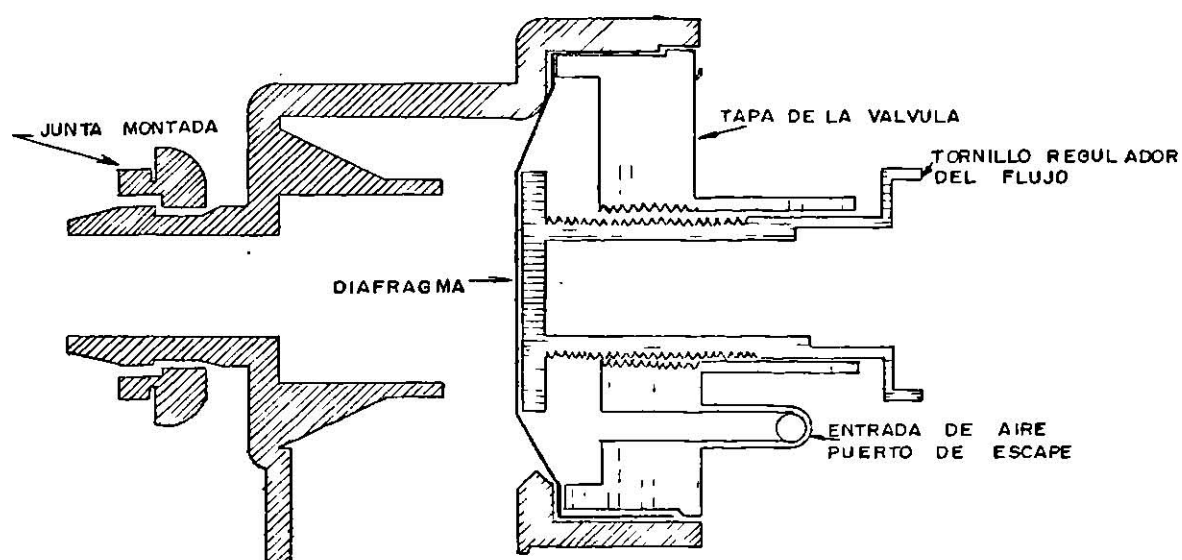


Figura 19. Vista de la sección transversal de una válvula sencilla en el surco operada por aire.

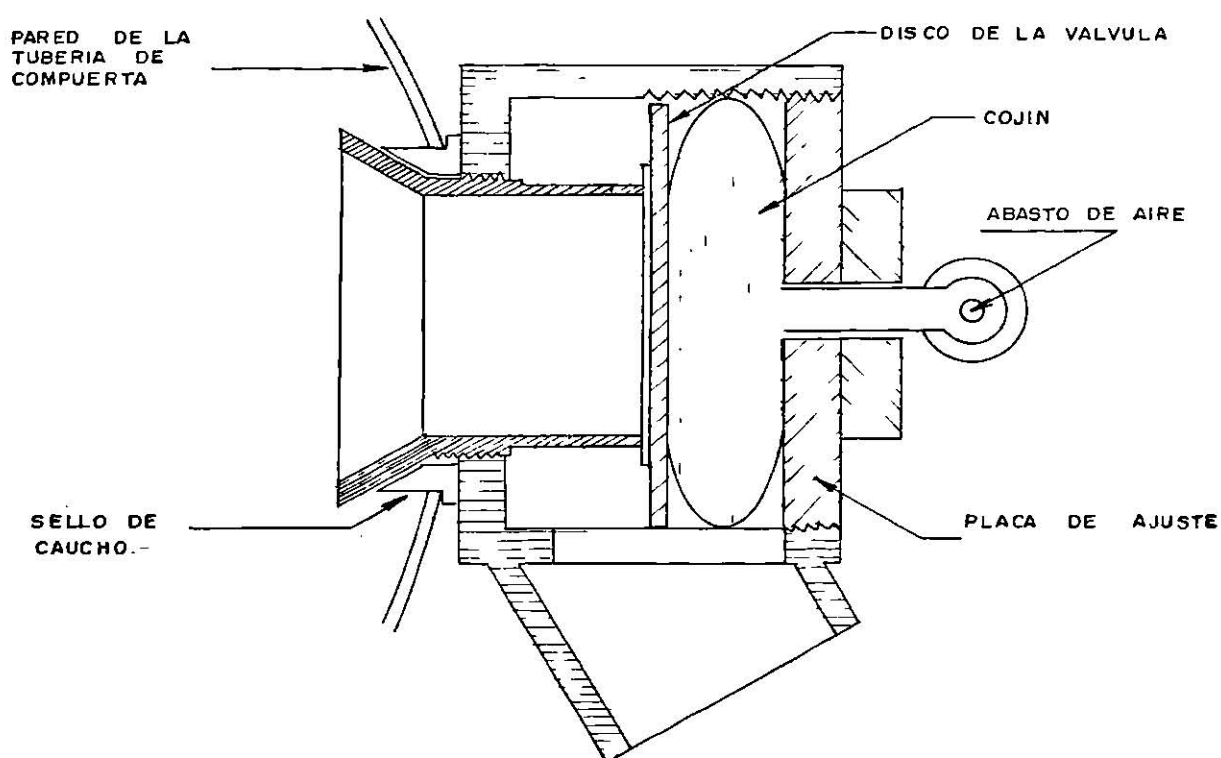


Figura 20. Sección transversal de una válvula de surco tipo disco de cojin.

### 6.1.0.0. Sistemas de canales abiertos.

En sistema de surcos.

Este sistema cuenta con una serie de bahías a nivel, en un dique revestido de concreto, con salidas de la tubería hacia los surcos individuales (figura 21). Una compuerta automática check está ubicada entre dos bahías consecutivas, que en forma alterna suelta el agua hacia la bahía aguas abajo y revisa el flujo en la bahía aguas arriba para el riego intermitente (Figura 22).

Para este sistema se usa un sifón dosificador y una compuerta de caída automática, los cuales son mostrados en las figuras 23 y 24, respectivamente.

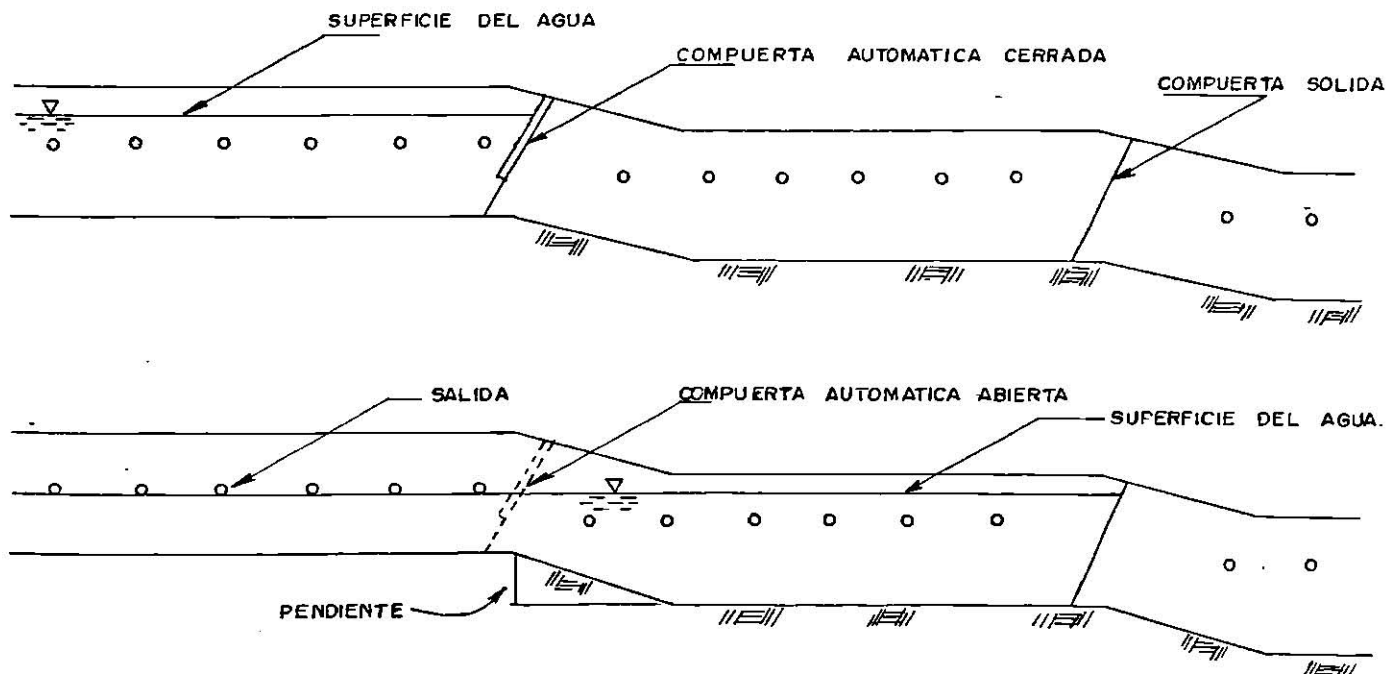


Figura 21. Vista perfil de un sistema de surcos de canal abierto con una compuerta check automática.



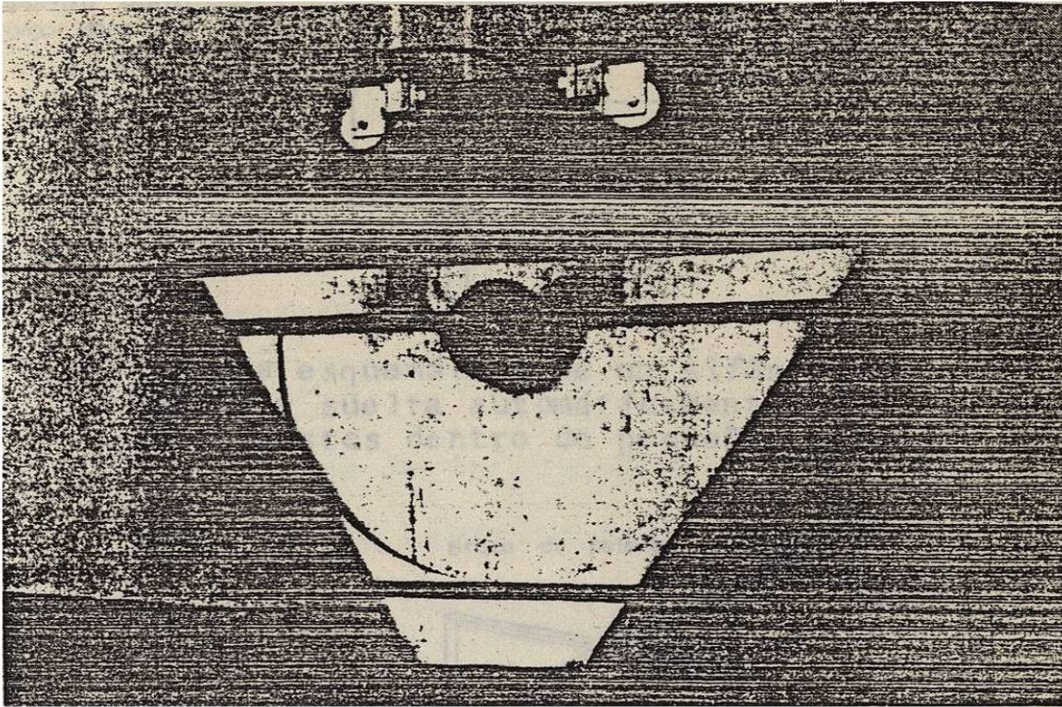


Figura 22. Vista posterior de una compuerta de rotación para un sistema de surcos con flujo intermitente de canal abierto.

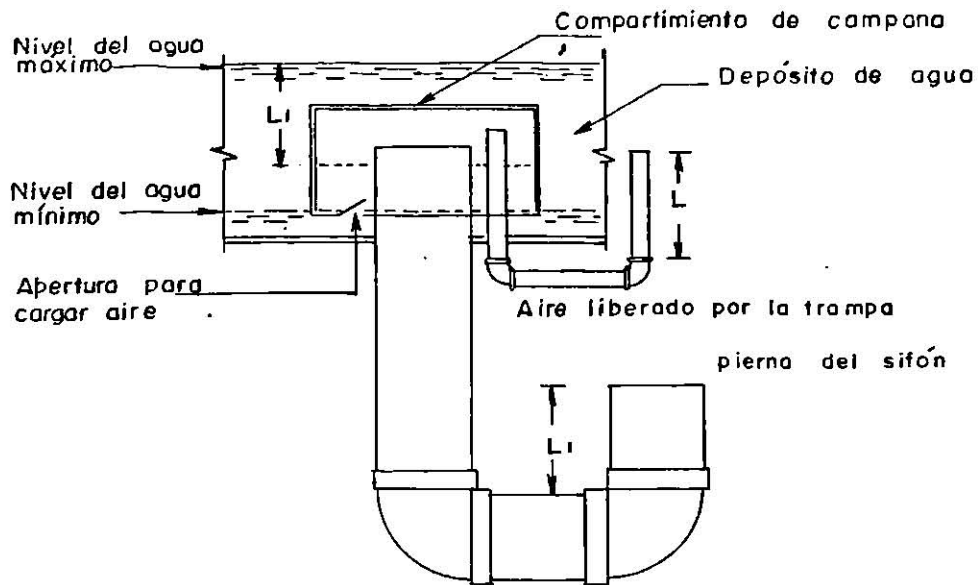


Figura 23. Diagrama esquemático de un sifón dosificador, que acumula y suelta automáticamente el agua, desde pequeños gastos dentro de pequeñas melgas y bordos.

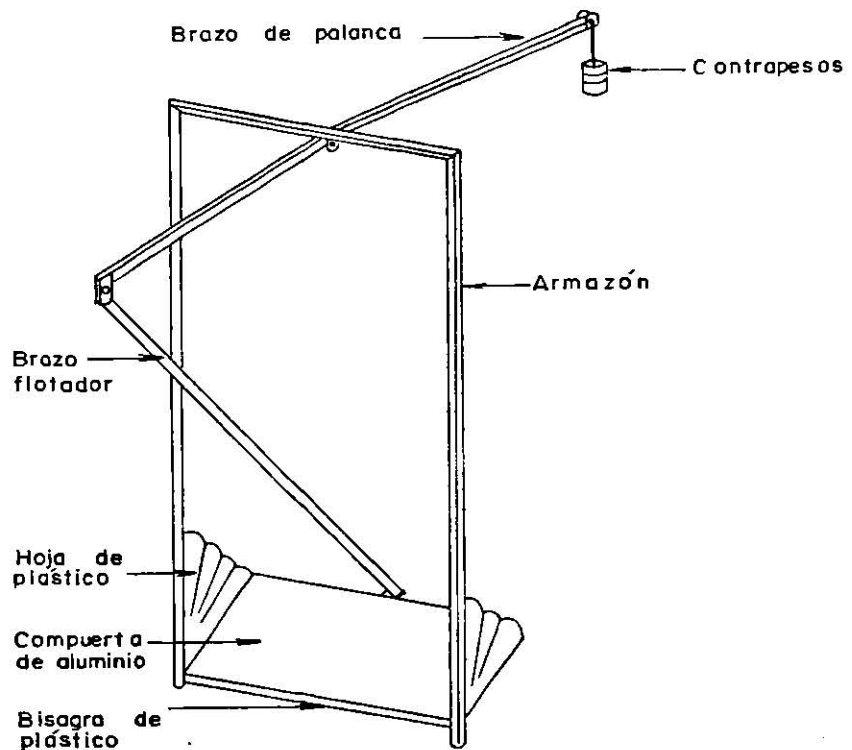


Figura 24. Esquema de una compuerta de caída automática que acumula y suelta el agua desde pequeños gastos dentro de pequeñas melgas o bordos.

#### 6.2.0.C. Infiltrómetros de recirculación en el surco.

Las características de infiltración del suelo deben determinarse para diseñar, evaluar y manejar los sistemas de riego por surcos. Las mediciones de la infiltración hacen que el agua que fluye simule aproximadamente la hidráulica del riego, que con los métodos basados en agua estática (cilindros infiltrómetros). Esto es particularmente importante para el flujo intermitente, debido a que el transporte de sedimentos y la infiltración son afectados por el desalojo del agua del surco entre intermitencias.

Los infiltrómetros de recirculación, miden tanto la tasa de infiltración, como la cantidad de agua infiltrada acumulada en una sección corta del surco. El agua es circulada en una tasa constante a través de una sección de prueba del surco, cuya longitud varía desde 1 m, como la usada en California, hasta 30 m, como la usada en Arizona. El volumen de agua circulado durante la prueba, es abastecido desde un depósito o tanque móvil. La tasa a la cual es abastecida el agua, representa la tasa de infiltración; y el volumen de agua total agregado representa la tasa de infiltración acumulada.

Este mecanismo de medición, consta de un depósito o tanque de abastecimiento de agua; cuando el agua se infiltra la detección de la carga o el nivel del agua, se mide para registrar los cambios en el volumen de agua en el depósito de abastecimiento. Consta también de bombas para la recirculación del flujo de agua en el tramo de prueba; válvulas, y otros accesorios para regular el flujo que entra al surco; una caja de

entrada al surco aguas arriba, y una caja suplementaria aguas-abajo con un mecanismo para regular el nivel del agua en el extremo aguas abajo del tramo de prueba (Figura 25).

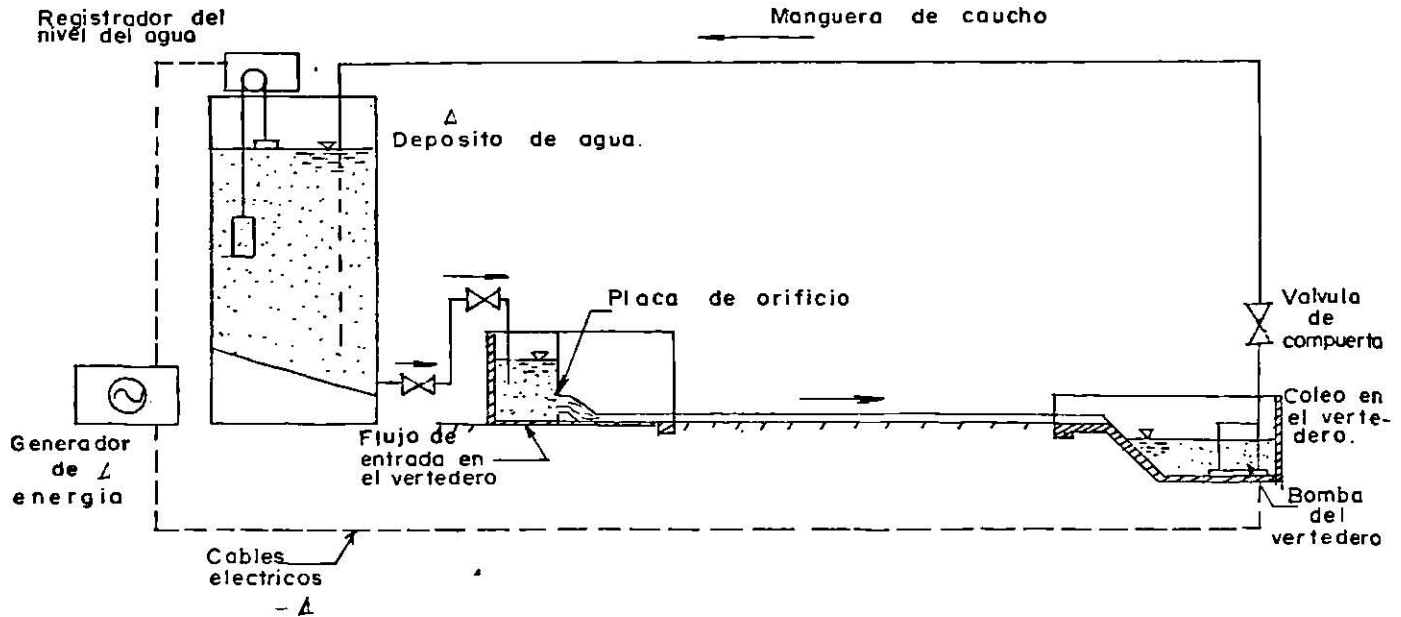


Figura 25. Diagrama esquemático de un infiltrómetro de recirculación, con una bomba que recircula el agua hacia el tanque de abastecimiento (diseño de Oklahoma).

Las tres configuraciones usadas para la investigación del flujo intermitente son: (1) un sistema de bomba centrífuga sencilla, (2) un sistema con una bomba de tornillo sinfín y (3) un sistema de bomba centrífuga doble.

#### 6.2.1.0. Sistema de bomba centrífuga sencilla.

Este es el sistema más simple. La bomba centrífuga recircula el agua desde el vertedero aguas abajo, hasta la caja --- aguas arriba de la sección de prueba del surco. El gasto del surco está regulado por una válvula de ajuste manual, y un pequeño vertedero aguas abajo, mediante una válvula de flotación, que admite agua desde un tanque de abastecimiento para reem--

plazar la pérdida debido a la infiltración. La lámina de riego sobre el surco, es regulada por una placa del aforador que es removible en la salida al vertedero (figura 26).

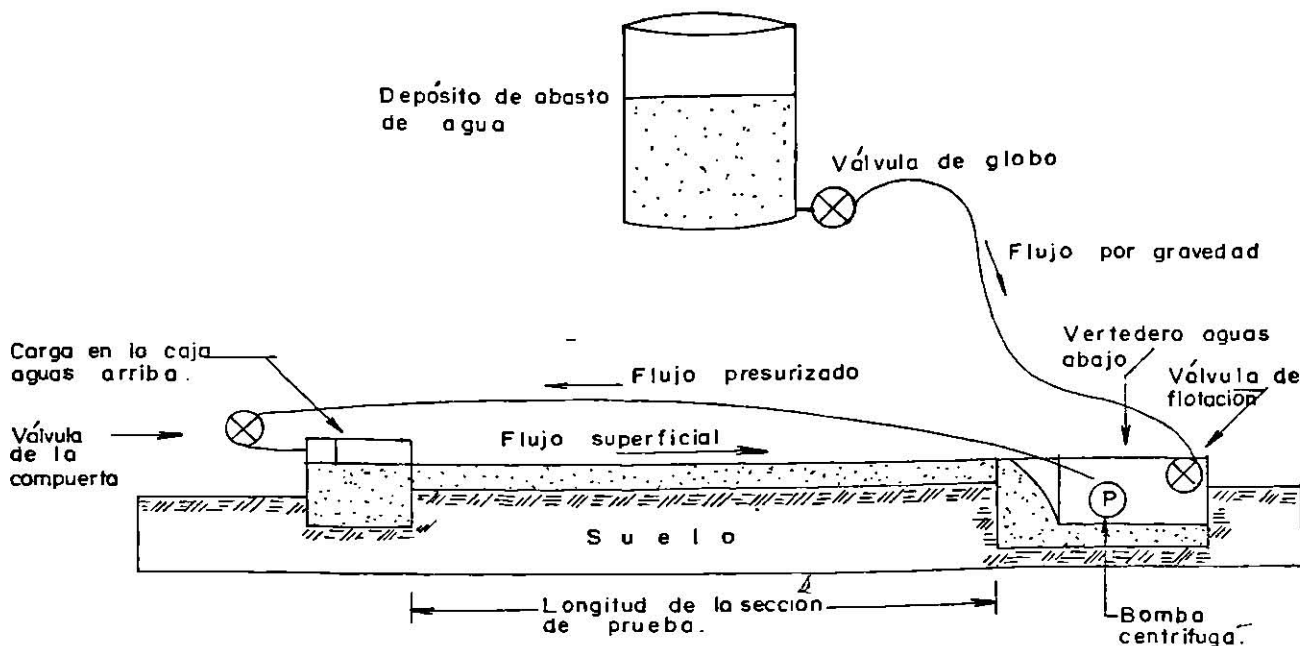


Figura 26. Diagrama esquemático del flujo de un infiltrómetro de recirculación en el surco con una bomba centrífuga sencilla. Vista lateral del diseño de Arizona.

La ventaja principal de este sistema es su bajo requerimiento en potencia, simplicidad de operación; y las tasas de infiltración para el riego intermitente, para tiempos cortos, son más fáciles de medir cuando el agua es recirculada a través del depósito de abastecimiento.

## 6.2.2.0. Sistema de bomba de tornillo sinfín (de Arquímedes).

La característica de este sistema es la bomba de tipo tornillo sinfín, usada para recircular el agua desde el vertedero hasta un depósito de retorno con carga constante. Este sistema fué desarrollado en la premisa de que la bomba de tornillo minimizaría la cantidad de sedimentos, su división y alteración que podría ocurrir con la circulación repetida a través de la bomba centrífuga (figura 27).

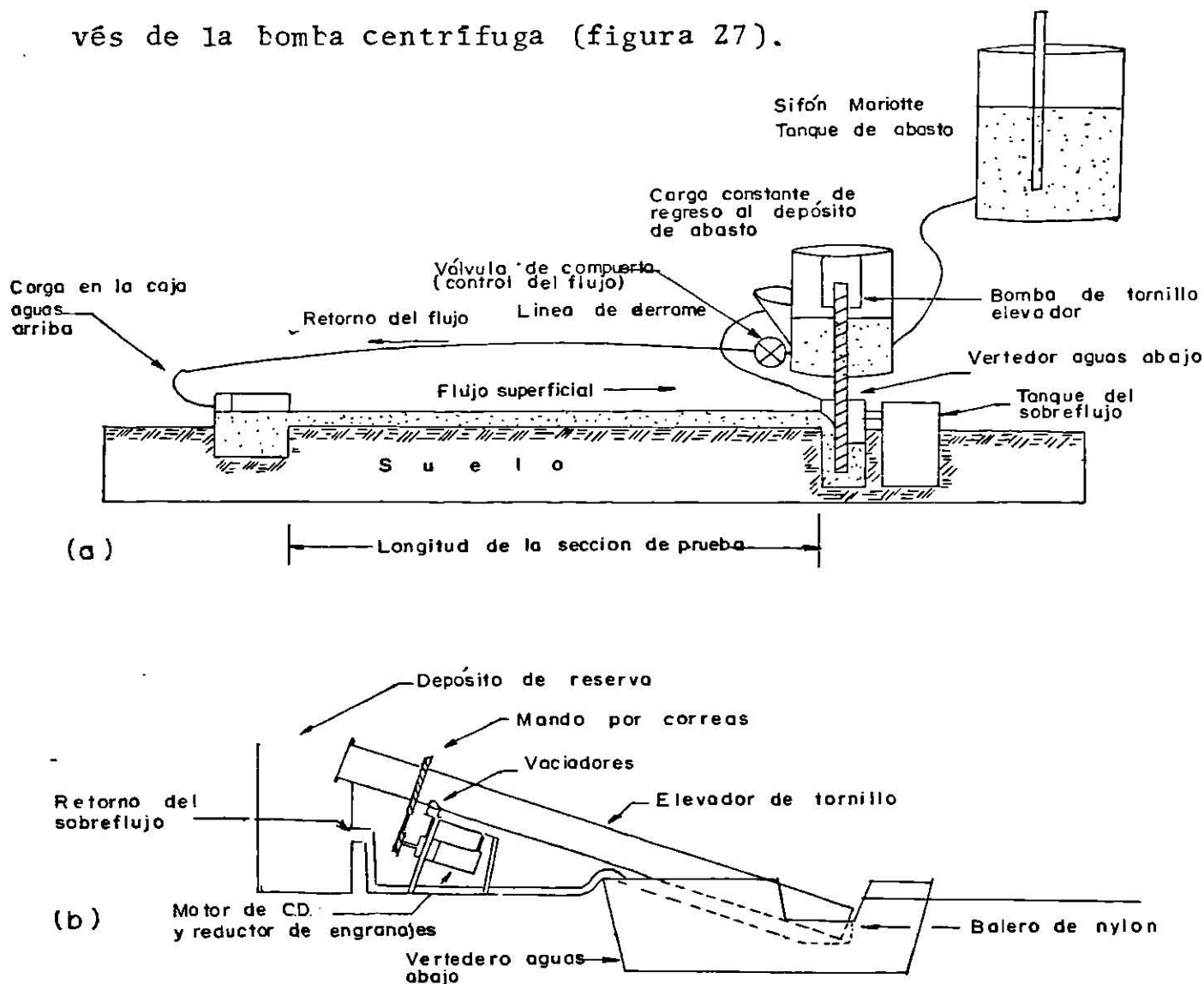


Figura 27. Infiltrómetro de recirculación en el surco con una bomba tipo tornillo de Arquímedes: (a) diagrama esquemático del flujo, y (b) vista de perfil del vertedero aguas abajo y la bomba tipo tornillo sinfín (diseño de Idoño).

El gasto en el surco es regulado variando la velocidad -- del tornillo; variando a su vez la velocidad de un motor de -- CD.

Las principales ventajas de este sistema son: los bajos - requerimientos en potencia y el mínimo efecto del sistema en - el sedimento recirculado.

#### 6.2.3.0. Sistema de bomba centrífuga doble.

El sistema usa dos bombas centrífugas para recircular el agua a través del sistema. Una de las bombas es usada para - proporcionar el flujo del agua hacia la caja de entrada al surco, que provee también del flujo a una línea de desvío atrás - del tanque de abasto, para prevenir la acumulación de sedimentos y mantenerlos suspendidos en el flujo recirculado. La segunda bomba, localizada en el vertedero del extremo de la sección de prueba, recircula agua hacia el tanque de abastecimiento. El nivel de agua en el surco es regulado por una placa -- del vertedor a la entrada del mismo. El nivel del agua en el tanque de abasto, es medido con un manómetro de tubo sencillito o con un transductor de presión. El diseño del sistema se --- muestra en la figura 28.

La desventaja de este sistema es la potencia y equipo extra requeridos por el sistema.

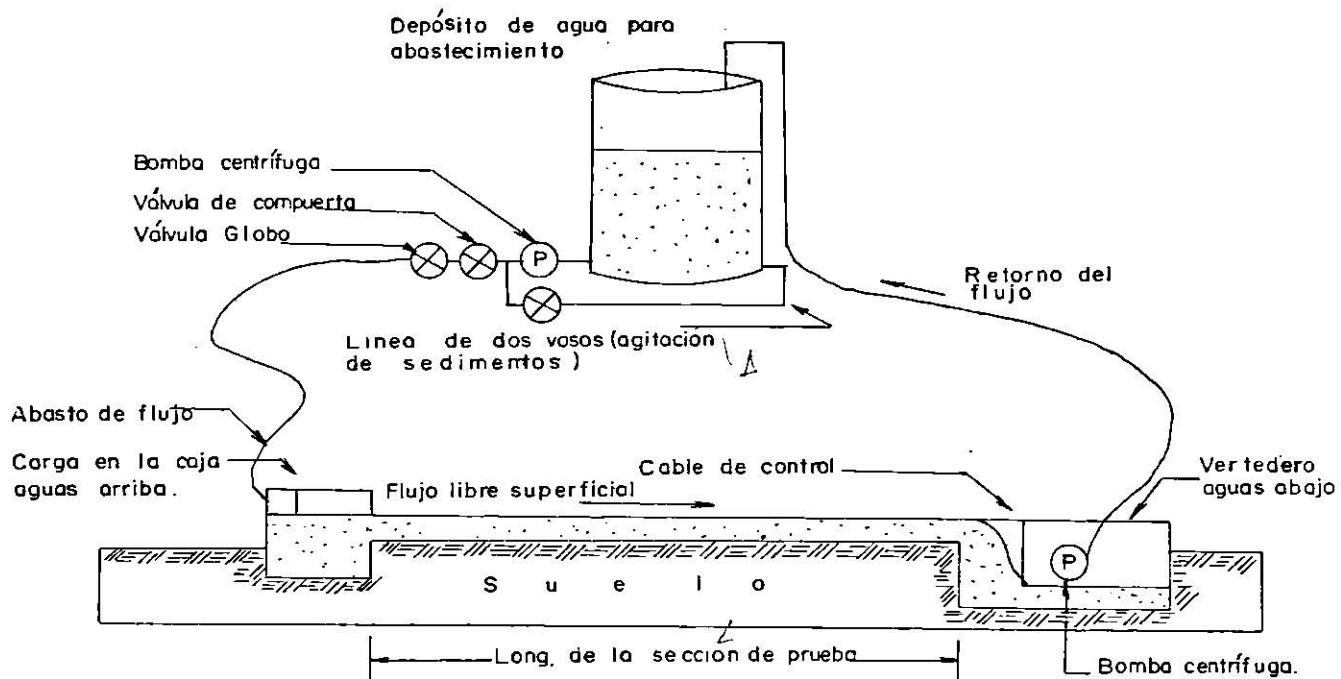


Figura 28. Diagrama esquemático de un infiltrómetro de recirculación en el surco con bomba doble.



## VII. CONCLUSIONES

En base a la literatura revisada sobre las pruebas de campo, laboratorio, y simulación por medio de modelos matemáticos, del riego en surcos con flujo intermitente; se concluye lo siguiente:

- 1.- Comparado a una aplicación continua, el flujo intermitente requiere de un volumen de agua menor para completar el avance a lo largo del surco.
- 2.- La reducción del volumen requerido, se debe a la reducción de la tasa de infiltración, que a su vez incrementa la velocidad de avance del flujo por el surco.
- 3.- La reducción de la tasa de infiltración es afectada por:
  - a) El efecto que esta forma de aplicación del flujo, tiene en el tirante hidráulico, rugosidad e infiltración.
  - b) El fenómeno de sellado de la superficie del suelo por la reorientación horizontal de las partículas sueltas suspendidas, en forma de placa, que reduce gradualmente la infiltración.
- 4.- En cada intermitencia se inicia un nuevo proceso de infiltración, por lo que esta ocurre bajo diferentes condiciones de humedad y tirante hidráulico, siendo estas condiciones cada vez mas altas, por lo que la infiltración disminuye.

- 5.- Ocurren tres fases de infiltración distintas bajo, flujo intermitente; estas fases son: (a) infiltración en un suelo inicialmente seco, (b) infiltración dentro de un suelo previamente mojado, y (c) un régimen de transición en la infiltración, causada por el incremento en el perímetro mojado, que ocurre después del primer humedecimiento.
- 6.- El flujo intermitente, como sistema de riego permite mayor rendimiento en el avance por tiempo; debido a que se pueden estar regando dos o más secciones de riego con tratamientos que se complementen en sus tiempos con y sin flujo, sin suspender el gasto de abastecimiento.
- 7.- El riego intermitente reduce el volumen de agua escurrida al final del riego.
- 8.- La aplicación intermitente mejora la eficiencia de aplicación, así como la uniformidad en la distribución de la humedad en la mayoría de los suelos.  
Un riego intermitente se puede mejorar en dos partes, la fase de avance y la fase de postavance, la última con una aplicación continua.
- 9.- La optimización de un riego intermitente al relacionar los parámetros de manejo (gasto de entrada, número de intermitencias y duración de la intermitencia) resulta en el avance del flujo por el surco con el mínimo volumen de agua.

- 10.- Usando el equipo disponible para flujo intermitente se obtienen ciertas ventajas al aplicar un riego, mejorando en conjunto la eficiencia de aplicación, uniformidad en la distribución y se controla la cantidad de agua escurrida al final del riego.
- 11.- El modelo de ola cinemática identifica las relaciones entre los parámetros de manejo del riego y la primera y última intermitencia de la fase de avance, y el tiempo conflujo de la fase de postavance.
- 12.- El riego en surcos con flujo intermitente, es una alternativa de riego superficial para ahorrar agua en aquellas zonas con escasez de esta; aumentar la superficie regada, y ahorrar energía eléctrica para operar el sistema.

## BIBLIOGRAFIA

1. ALEMI, M.H. and D.A. GOLDHAMER. 1988. Optimizacion Model of the Surge Irrigation. Transactions of the ASAE. Vol. 31 -- (2): Pp. 519-526.
2. CASTRO, G.C.A. 1987. Efecto del gasto, tiempo con flujo y tiempo sin flujo sobre la fase de avance en riego por surcos con flujo intermitente. Tesis. Instituto Tecnológico de Sonora. Cd. Obregón, Sonora. Pp. 16,34,117,118.
3. CIDIAT. 1973. Métodos de riego. IEA. Pp. 51-52, 54-57, 83-85, 91-95, 102-103.
4. GOLDHAMER, D.A., M.H. ALEMI and R.C. PHENE. 1987. Surge irrigation Vs. continuous irrigation. California Agriculture. Vol. 41 (9,10). Pp. 29-32.
5. FANSON, R.B. 1987. A systems approach to drainage reduction. California Agriculture. Vol. 41 (9,10). Pp. 19-24.
6. FANSON, R.P. 1989. Drainage reduction potential of furrow Irrigation. California Agriculture. Vol. 43(1). Pp. 6-8.
7. ISRAEISEN, O.W. y FANSEN, V.E. 1965. Principios y aplicaciones del riego. Segunda Edición. Editorial Reverté. Barcelona, España. Pp. 193-200.

8. IZUNO, F.T., T.F. PODMORE, and H.R. DUKE. 1985. Infiltration under surge irrigation. Transactions of the ASAE. Pp. 517-521.
9. IZUNO, F.T. and T.F. PODMORE. 1986. Surge Irrigation Management. Agricultural Water Management. An International Journal. Elsevier Science Publishers. Amsterdam. Pp. 279-291.
10. MARTINEZ, E.R. 1980. Metodologías para diseño de riego en surcos con reducción de gasto. Tesis. Colegio de Postgraduados de Chapingo. Chapingo, México. Pp. 9-10.
11. McCORNICK, P.G., H.R. DUKE, and T.F. PODMORE. 1988. Field-Evaluation Procedure for surge Irrigation. Transactions of the ASAE. Vol. 31(1). Pp. 168-176.
12. SEMINARIO INTERNACIONAL DEL RIEGO Y USO RACIONAL DE LA ENERGIA. 1989. SARH. Coahuila, México. Pp.2-7, 25-31, 161, 239-241.
13. TESTEZLAF, R., R.L. ELLIOT, and J.E. GARTON. 1987. Infiltration under surge flow irrigation. Transactions of the ASAE. Vol. 30(1). Pp. 193-197.
14. UTAH AGRICULTURAL EXPERIMENT STATION. 1988. Surge Flow Irrigation. Research Bulletin 515. Utah State University. lo--

gan Utah. Pp. 1-9, 14, 19-36.

15. WALKER, W.R. and A.S. HUMPHERYS. 1983. Kinematic-Wave Furrow Irrigation Model. Journal of the Irrigation and Drainage Division. Proceedings of the American Society of Civil Engineers. Vol. 109 (4). Pp. 377-391.

