



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería

0940  
01149  
51

**«DISEÑO CONSTRUCCION Y MANTENIMIENTO  
DE DRENAJE SECUNDARIO AGRICOLA»**

587

**T R A B A J O**

que para obtener el grado de

**MAESTRO EN INGENIERIA  
( H I D R A U L I C A )**

presenta el Ingeniero

**ALEJANDRO GONZALEZ ASCENCIO**

México, D. F., Ciudad Universitaria.

Abril de 1980.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

CON MUCHO CARINO A MI MADRE:

MARINA ASCENCIO CAZAREZ

A LA MEMORIA DE

CONCEPCION CAZAREZ A.

J. JESUS ASCENCIO CAZAREZ

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

En especial al Ing. Carlos Ramón Maciel Aguilar por su valiosa ayuda para la realización de este trabajo mediante el --- cual aspiro a obtener el grado de maestro en Ingenierfa, y a todas aquellas personas que de alguna forma colaboraron para que fuera posible el desarrollo del mismo.

## I N D I C E

	Pág.
INTRODUCCION	1
1. PRINCIPIOS FUNDAMENTALES PARA REGIMEN ESTABLECIDO Y NO ESTABLECIDO	9
2. METODOS DE DISEÑO	17
3. METODOS DE CONSTRUCCION	43
4. LIMITACIONES Y MANTENIMIENTO	71
5. EJEMPLO NUMERICO	75
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	81
7. APENDICE	88
8. GRAFICAS, TABLAS Y NOMOGRAMAS	92
BIBLIOGRAFIA	112

## INTRODUCCION

La necesidad de aumentar los rendimientos en los cultivos ha traído el desarrollo de una multitud de técnicas de saneamiento de suelos, a saber la irrigación, el escurrimiento y el drenaje. El drenaje tiene como fin eliminar el exceso de agua contenida en el suelo. Es más restrictivo que el escurrimiento que tiende a eliminar más bien el agua de la superficie que aquella contenida en el suelo.

Las técnicas de drenaje más conocidas son el drenaje por zanjas profundas, el drenaje subterráneo por tuberías enterradas y el drenaje topo.

### Necesidad del drenaje

El suelo constituye la infraestructura de producción en la agricultura; si no puede proporcionar a la planta condiciones de vida aceptables, no podrá producir a su pleno poten-

cial. Asegurarse de un escurrimiento y de un drenaje adecuados son los primeros pasos en el mejoramiento de una empresa agrícola a fin de lograr una ganancia satisfactoria.

¿Qué es un suelo mal drenado?

Un suelo mal drenado es un suelo que permanece muy húmedo, - donde el nivel freático se mantiene elevado. Un nivel de -- agua está elevado cuando el agua libre fluctúa dentro de la zona de las raíces de las plantas cultivadas.

Las condiciones de nivel freático elevado o de humedad excesiva del suelo dependen del clima y en ciertos terrenos se - presentan niveles de agua elevados durante todo el año a cau - sa de su configuración (al pie de una pendiente, en una de-- presión, etc.).

Las zanjas, la pendiente del terreno, la formación geológica del subsuelo y el poder evapotranspirante de las plantas y - de la atmósfera ambiente contribuyen a hacer descender el ni - vel freático del agua. Sin embargo, si esta acción no es su - ficientemente rápida para liberar la zona de raíces en dos o tres días, debe de considerarse el mejoramiento del drenaje - por medios artificiales, en particular la instalación de un - sistema de drenaje subterráneo (ya sea por zanjas o tuberías enterradas).

### Efectos de un suelo mal drenado

#### Dificultad de crecimiento de las plantas

Todo el tiempo de la estación, el suelo mal drenado es una amenaza para la vida de la planta.

Las raíces no pueden desarrollarse y proporcionar a la planta un aporte suficiente de elementos nutritivos; los abonos no pueden cumplir su papel y el crecimiento es deficiente de donde la madurez es desigual o retardada\* (ver fig. 1).

El control de insectos, de enfermedades y de maleza se complica puesto que las pulverizaciones necesarias no pueden efectuarse en el tiempo deseado. Además, un suelo húmedo constituye un medio ideal para la proliferación de las enfermedades en las plantas.

La cosecha es con frecuencia difícil. La madurez de las plantas se retarda; el agricultor se ve obligado a cosechar tardíamente en condiciones de humedad raramente adecuadas. Se produce una pérdida en el campo bastante considerable y para el maíz, las condiciones de secado de la cosecha pueden ser más difíciles. Además, los trabajos se retardan. Si se trata de un cereal en grano, el terreno se deteriora con los pasos de la maquinaria de cosecha y estos deterioros aparece

---

\* Donde las condiciones de niveles freáticos elevados, o de humedad excesiva, son frecuentes.



rán con los años en la pradera. En el caso de una cosecha - destinada a la conservería donde el estado de madurez del -- fruto o de la legumbre fija la fecha de la cosecha y que no puede esperarse un día o dos para circular por el campo, la cosecha arriesga quedar fuera de orden o simplemente rechazada.

Durante toda la etapa de crecimiento, la sumersión prolongada de la zona de las raíces se arriesga a un desarrollo crítico para las plantas. Sin embargo, las plantas pueden soportar sin daño, una sumersión de un día (en general).

#### Degradación del suelo

Después de unos años de cultivo en condiciones húmedas, el - suelo se vuelve menos apto para las cosechas. Es así que -- los suelos trabajados en malas condiciones de humedad se --- vuelven cada vez más compactos y difíciles de escurrir. En los suelos arcillosos principalmente, la estructura se deteriora, el volumen de vacíos disminuye, la infiltración del - agua es más difícil y la aereación del suelo más débil (ver figuras 2A y 2B).

#### Aumento del tiempo y costos de los trabajos

En suelo mal drenado, la eficacia de la maquinaria disminuye tanto por la falta de tracción como por el hundimiento de -- los neumáticos. Además, es necesario "pasar" un mayor número

ro de veces con los instrumentos de preparación del suelo a fin de desmenuzar los terrones gruesos y preparar un lecho adecuado para la simiente. Esto acarrea un aumento en el tiempo necesario para efectuar estos trabajos, un aumento en el consumo de carburantes y un desgaste más rápido de los instrumentos.

Frente a estos problemas, algunos productores adquieren tractores más potentes y pesados. Sin embargo, el rendimiento de las plantas no aumenta, al contrario, tiene tendencia a disminuir por la compactación del suelo ocasionada por el aumento de los tractores.

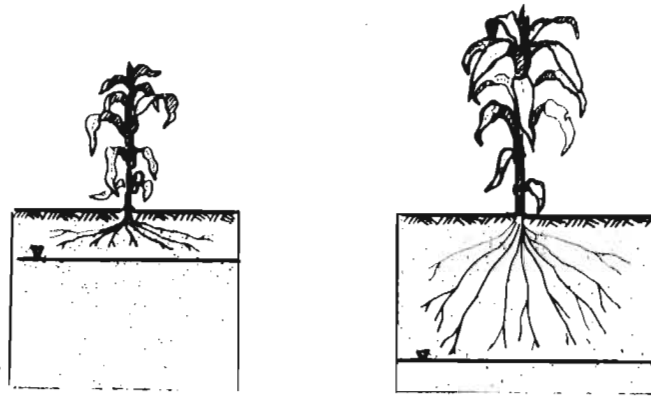


Fig. 1 En suelo mal drenado las raíces no se desarrollan

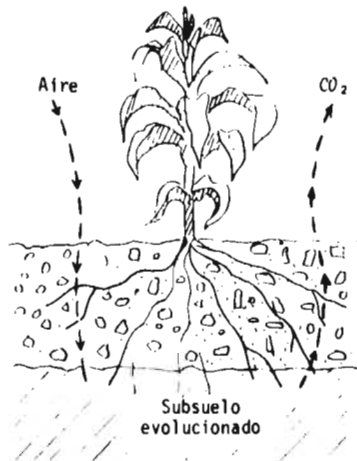


Fig. 2A Comportamiento de la planta en un suelo bien drenado.

1. El suelo de la superficie favorece la circulación del aire y la penetración de las raíces.
2. El subsuelo proporciona una parte apreciable de elementos nutritivos a la planta.
3. La ausencia de terrones en la superficie favorece un semillero más regular y una tasa de emergencia elevada.
4. La vida microbiana del suelo está en plena actividad; se fija más nitrógeno por los *rhyzobiums* en los nódulos de las leguminosas

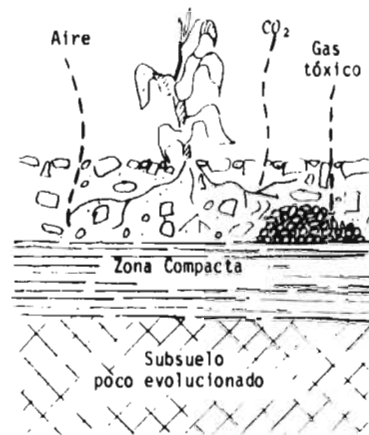


Fig. 2B Comportamiento de la planta en un suelo mal drenado en vfas de degradación.

1. El trabajo del suelo en condición húmeda ocasiona la formación de terrones gruesos.
2. El suelo se vuelve muy duro al secarse.
3. La porción del suelo bajo la labor se compacta gradualmente.
4. La capacidad de aereación del suelo disminuye, seguida de una acumulación de gases tóxicos.
5. El subsuelo, en vez de liberar los elementos nutritivos, cesa casi su actividad bioquímica.

### Influencia de la conductividad hidráulica

Los valores de conductividad hidráulica pueden variar mucho de un suelo a otro, e incluso en el interior de un mismo tipo de suelo.

De manera general, la conductividad hidráulica depende mucho más de la estructura del suelo que de la textura del mismo. Por ejemplo, una arcilla poco estructurada puede tener un valor de conductividad hidráulica muy débil, del orden de --- 0.003 m/dfa (1/4 de pulgada/dfa) mientras que una arcilla -- bien estructurada puede tener un valor muy elevado del orden de 10 metros/dfa. De igual forma en las arenas, en la ausencia de la estructura, se pueden encontrar valores muy elevados de la conductividad en las arenas gruesas y valores muy débiles en ciertas arenas finas y muy finas.

### Importancia de los ensayos de conductividad hidráulica

Los valores de conductividad hidráulica permiten calcular la separación entre las líneas de drenes. A partir de estos valores, se pueden realizar las instalaciones de drenaje con - separaciones muy variables, generalmente de 10 a 80 metros - (35 - 260 pies).

Estas medidas son muy importantes si se les consideran las - sumas de dinero que pueden economizarse en un suelo pudiéndo se drenar a mayores separaciones. Inversamente, estos ensa - yos permitirán determinar en un suelo poco permeable, si se-

le puede hacer drenaje subterráneo o si es preferible proponer otras técnicas de saneamiento.

## CAPITULO 1

### PRINCIPIOS FUNDAMENTALES PARA REGIMEN ESTABLECIDO Y NO ESTABLECIDO.

Una práctica común para controlar la profundidad del nivel de agua freática, y que éste no sea un factor limitante en la producción agrícola es mediante la instalación de drenes.

Dos prácticas comunes de instalación son usadas, el de zanjas abiertas y el de drenes entubados subterráneos, el primero más antiguo y el segundo que viene siendo más usado en la agricultura moderna, sin que esto quiera significar un mejor funcionamiento y trabajo de uno de ellos sobre el otro, ya que los drenes superficiales y los drenes entubados aisladamente o en combinación pueden ser necesarios para constituir un adecuado sistema de control de la profundidad del nivel de agua.

En el diseño de cualquier sistema de drenaje un factor muy importante es el espaciamiento de drenes.

En las ecuaciones desarrolladas para calcular el espaciamiento de drenes, sea para zanjas abiertas o tuberías enterradas, debido a muchas variables y deficiencias del suelo, todavía no se ha desarrollado un método que sea satisfactorio para todas las condiciones. Las soluciones teóricas se basan en cualquiera de las dos hipótesis o soluciones, y conceptos siguientes:

a) Teoría de Dupuit - Forchheimer (ec. de Boussinesq)

Soluciones aproximadas a los problemas de flujo pueden obtenerse empleando una suposición originalmente hecha por Jules Dupuit en 1858. El, supuso que el gradiente hidráulico en cualquier punto es igual a la pendiente del agua freática encima del punto. Aceptó que la suposición era válida solamente para un nivel freático de pendiente suave. La suposición de Dupuit fue posteriormente explotada y aplicada a varios problemas de agua subterránea y percolación por un ingeniero hidráulico Alemán P.H. Forchheimer. Posteriormente un ingeniero Francés Boussinesq utilizó la suposición para desarrollar ecuaciones que se emplean en el análisis de problemas transitorios del agua freática. Las suposiciones Dupuit - Forchheimer son absolutamente válidas para aguas freáticas de pendiente suave. Sin embargo, esta es la -

situación que prevalece. Solamente cuando se está próximo al dren la pendiente del agua freática es grande. -- Por lo tanto, la mayoría de las teorías utilizables en drenaje y percolación utiliza estas suposiciones con solamente un error pequeño en las ecuaciones resultantes. Existen algunas limitaciones en la aplicación de la suposición, tales como:

1. No se toma en cuenta en la suposición el flujo curvilíneo por debajo del nivel del dren o del pozo. Para tomar en cuenta este flujo es necesario desarrollar ecuaciones especiales o factores de ajuste.
2. El flujo hacia el dren se predice con exactitud por la teoría pero las trayectorias reales del flujo en la cercanía del dren difieren de la teoría.

Las suposiciones D.F. pueden emplearse para desarrollar una ecuación para el análisis de los problemas transitorios. La ecuación se conoce como ecuación de Boussinesq (o de flujo de calor) y se obtiene apoyándose en la ecuación de continuidad y la ley de Darcy; dicha ecuación es:

$$\frac{S}{KD} \frac{dy}{dt} = \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (1.1)$$



En donde:

- $y$  = distancia del nivel freático por encima del estrato impermeable;
- $x$  = posición horizontal
- $t$  = tiempo
- $S$  = porosidad drenable
- $K$  = permeabilidad o también conocida como conductividad hidráulica
- $D$  = espesor del estrato donde ocurre flujo horizontal

- b) Sistema establecido o permanente, en el cual la recarga de agua a un área se considera constante, y la salida de agua por el sistema de drenaje también constante, e igual a la recarga; permaneciendo el nivel freático en forma estacionaria, es decir, que no asciende ni desciende de nivel. Entre los investigadores que han presentado sus fórmulas se tienen a: Donnan, Hooghoudt, Ernst, D. Kirkam y muchos otros investigadores.

Este estado ocurre generalmente en zonas húmedas donde la precipitación es más o menos constante durante un largo período y sus fluctuaciones no son amplias.

- c) Sistema no establecido o no permanente, es un sistema algo más complicado que los problemas de sistema permanente porque depende de muchos factores, se presentan generalmente en zonas bajo riego, y por el efecto de éste;

el nivel freático se eleva para luego ir descendiendo, -- hasta volver a elevarse al comenzar el próximo riego, -- por lo que la recarga no es permanente ocurriendo a intervalos dados por la frecuencia de éstos, siendo esta -- velocidad de recarga diferente a la velocidad de descarga.

Los principales investigadores sobre el sistema no permanente son: R. Glover y L. Dumm, Moody, A. Jenab y otros-- más.

#### Criterios de drenaje

Las consideraciones a tener en cuenta para el diseño dependerá si se trata de un caso o sistema establecido o de un sistema no establecido.

##### a) Caso permanente o establecido

- Recarga normativa o requerimiento de drenaje,  $C_d$ , depende de la precipitación o del riego, o de un flujo subterráneo ascendente, puede ser expresado en forma de caudal (m/dfa) por unidad de área.
- La profundidad de raíces de los cultivos, indicará la -- profundidad mínima a la que debe encontrarse el nivel -- freático en el punto medio entre los drenes.

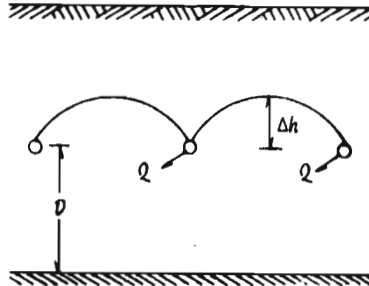


Fig. 1.1 Sistema Establecido

## b) Caso no permanente o no establecido

- El criterio a emplearse se refiere al tiempo en que el nivel freático desciende de una profundidad inicial ( $h_0$ ) a una profundidad ( $h_t$ ), sin que el cultivo se vea afectado por un grado de saturación excesivo por lo tanto dependerá de cada cultivo, generalmente se toma el descenso de 3 a 5 días para suelos medios.

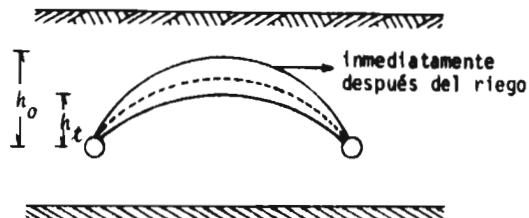


Fig. 1.2 Sistema no Establecido

### Tipos de flujo

En las fórmulas de drenaje, el flujo de agua se descompone - en tres formas: flujo horizontal ( $F_H$ ), flujo vertical ( $F_V$ ) y flujo radial ( $F_r$ )

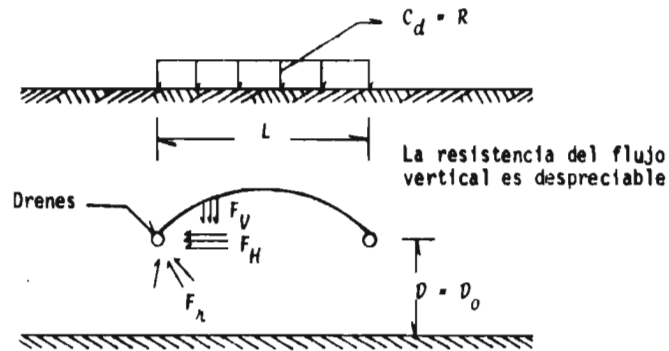


Fig. 1.3

Ahora, con respecto a la profundidad de la capa impermeable - existen tres casos, los cuales se describen a continuación:

- a) Drenes sobre la capa impermeable o la capa impermeable - está a pequeña profundidad por debajo de los drenes.

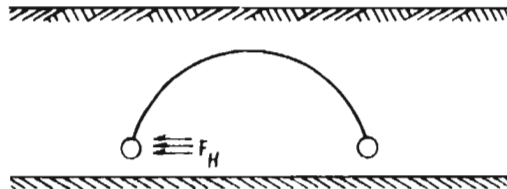


Fig. 1.4

En este caso, existe resistencia horizontal, el flujo radial puede ser despreciable por no haber suficiente distancia por debajo de los drenes para que este flujo ocurra.

- b) La capa impermeable se encuentra a gran profundidad por debajo de los drenes.

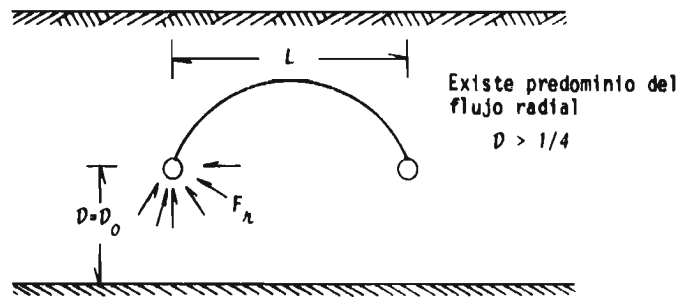


Fig. 1.5

- c) La capa impermeable está a  $D \leq L/4$   
(caso intermedio de los dos anteriores)

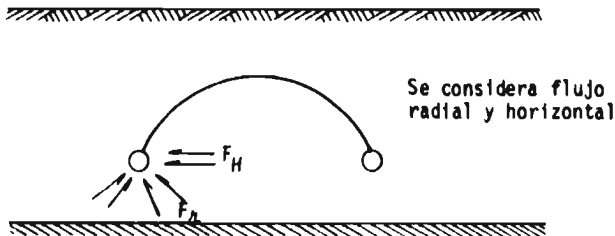


Fig. 1.6

METODOS DE DISEÑO

2.1 Flujo Establecido o Permanente

a) Principios de la ecuación de Hooghoudt

Si en la construcción de las zanjales de drenaje no se llega a la barrera impermeable, las líneas de flujo no serán paralelas y horizontales pero convergerán hacia el dren, entonces en la cercanía a éste el flujo será radial. En esta región de flujo el sistema no puede ser simplificado a solamente tener líneas de flujo horizontales y paralelas sin introducir grandes errores.

El flujo radial causa un alargamiento de las líneas de flujo, este alargamiento produce una mayor pérdida de carga, desde que la velocidad en la vecindad de los drenes es más grande que en la otra parte de la región de

flujo (donde es horizontal). Consecuentemente la elevación del nivel freático será más alta cuando la pared de la zanja de drenaje es reemplazada por una tubería de drenaje ya que se disminuye el área de ingreso del agua.

Hooghoudt (1940), partió (al igual que Donnan) de varios supuestos para obtener su ecuación:

1. Divide la región de flujo en dos partes, una con flujo horizontal y la otra con radial (ver fig. 2.1.1).
2. El flujo hacia los drenes es permanente, o sea que la cantidad de agua de recarga es igual a la cantidad de agua que sale por los drenes, es decir el nivel freático permanece constante.
3. La recarga es uniformemente distribuida
4. Sólo es válida para flujo horizontal
5. El gradiente hidráulico en cualquier punto es igual a la pendiente del agua freática en el punto  $dy/dx$ .
6. La ley de Darcy es válida para el flujo de agua a través del suelo.

La fórmula, presentada por Hooghoudt, puede ser derivada colocando el eje de las "y", en el punto medio entre los drenes (situación II, fig. 2.1.1) o estando el eje "y" en el límite de uno de los drenes entubados (o zanjas);-

ver fig. 2.1.1, situación I.

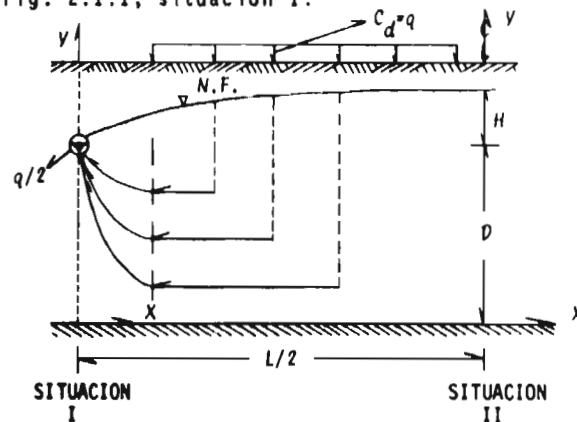


Fig. 2.1.1

Entonces, de acuerdo a los diferentes signos, situaciones y condiciones límites que deben considerarse para la solución, se puede demostrar que ésta será la misma en cualquiera de las dos situaciones. Por lo que, si se considera la situación I:

Con la ley de Darcy

$$-k y \frac{dy}{dx} = Q_x \quad (a)$$

$y$  es la profundidad total del flujo y varía entre  $D$  y  $D + H$ .

Pero se tiene también que

$$Q_x = C_d x \quad (b)$$

Condiciones límites: Cuando  $x = 0$ , entonces  $y = D$



Cuando  $X = L/2$ ,  $Y = D + H$

Ahora, si se igualan las ecuaciones (a) con (b) y se integra entre los lmites indicados, se tiene que:

$$-K \int_{Y=D+H}^{Y=D} Y \, dY = C_d \int_{X=0}^{X=L/2} X \, dX \quad ; \quad \text{de donde}$$

$$-\frac{1}{2} K [D^2 - (D+H)^2] = \frac{1}{2} C_d \frac{L^2}{4}$$

$$K (H^2 + 2DH) = C_d \frac{L^2}{4} \quad \text{o bien}$$

$$2K \frac{H^2}{L} + 4KD \frac{H}{L} = C_d \frac{L}{2} = Q_{inf}. \quad (c)$$

A la ecuación (c) se le conoce como gasto de infiltración -- ( $Q_{inf}$ ).

Cuando  $D = 0$ , el gasto de infiltración se reduce a únicamente flujo por encima del nivel de drenes\*, es decir

$$Q_{inf} = C_d \frac{L}{2} = 2K \frac{H^2}{L}$$

---

\* Según Hooghoudt (1940)

Pero cuando se tiene  $D \neq 0$ , dicho gasto esta compuesto de -- flujo por encima del nivel de drenes, así como también de -- flujo por debajo del nivel de drenes\* (ver ecuación c).

Ahora, de la ecuación (c) se obtiene que:

$$L^2 = 4K \frac{H^2}{C_d} + 8KD \frac{H}{C_d} \quad (d)$$

donde:

- L = espaciamiento entre drenes, en m
- $C_d$  o q o R = coeficiente de drenaje, o descarga de drenes - por unidad de área, en m/día
- K = conductividad hidráulica (o permeabilidad) del sue- lo, en m/día
- H = carga hidráulica por encima del dren, en el punto me- dio entre drenes, en m
- D = profundidad a la capa impermeable por debajo del ni- vel de drenes, en m

La fórmula anterior es conocida como la ecuación de la elip- se y en relación con el cálculo de espaciamiento de drenes - es más conocida como la fórmula de Donnan.

Ahora bien, si se tiene el caso de dos estratos de diferente conductividad hidráulica (fig. 2.1.2.II), y además el nivel- de los drenes coincide con la intercara de los dos estratos- (no es necesario que ello ocurra) entonces la ec (d) se ---

---

\* Según Hooghoudt (1940)

transforma en\*:

$$L^2 = \frac{4K_1 H^2}{C_d} + \frac{8K_2 D H}{C_d} \quad (2.1.1)$$

Para el empleo de la ec (2.1.1) debe tenerse presente lo siguiente:

- a)  $\frac{8K_2 D H}{C_d}$  - Es provocada por el flujo de agua por debajo -- del nivel de drenes
- b)  $\frac{4K_1 H^2}{C_d}$  - Es provocada por el flujo de agua por encima -- del nivel de drenes
- c) La fórmula de Hooghoudt se aplica en los siguientes casos (ver fig. 2.1.2):
- I. Para suelos homogéneos (fig. 2.1.2.I)
  - II. Cuando los drenes ocupan la intercara entre los dos estratos (fig. 2.1.2.II)
  - III. Cuando los drenes están localizados por debajo de la intercara de los dos estratos, es posible el aplicar la fórmula de Hooghoudt (en primera aproximación); - ya que no es posible predecir que grado de precisión será obtenido, por lo cual es recomendable utilizar,

---

\* La ecuación (2.1.1) es la presentada por Hooghoudt (1940)

en éste caso, la ecuación de Ernst.

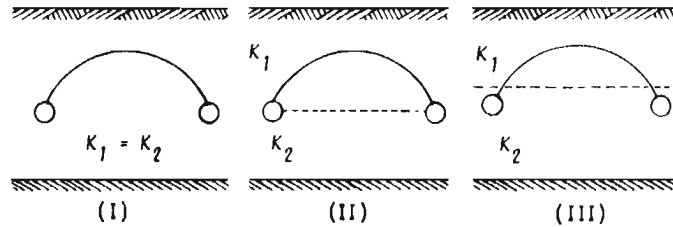


Fig. 2.1.2

Condiciones para que se produzca el flujo horizontal y se emplee la fórmula de Hooghoudt:

1.  $L \gg D$
2.  $H \ll D$

Observaciones:

- a) Drenes cercanos a la capa impermeable,  $D = 0$

$$L^2 = \frac{4KH^2}{C_d} \quad (\text{Se le asigna al flujo por encima del nivel de drenes})$$

- b)  $H \ll D$ . Condición de flujo horizontal

$$L^2 = \frac{8KDH}{C_d} \quad (\text{Se le asigna al flujo por debajo del nivel de drenes})$$

- c) Si el nivel de los drenes coincide con la intercara de dos capas en el suelo (ver fig. 2.1.2.II), entonces

$$L^2 = \frac{4K_1 H^2}{C_d} + \frac{8K_2 DH}{C_d} ; \text{ o emplear el gráfico I' para su solución.} \quad (2.1.2)$$

Zanja hasta la capa impermeable:

Cuando se utilizan tuberías de drenaje, las líneas de flujo son más largas. Esto quiere decir que en los tubos la carga hidráulica disponible debe ser mayor para producir el mismo efecto si fuese zanja.

Para una misma carga hidráulica, los tubos tendrán un menor espaciamiento ( $L$ ) que las zanjas.

Hooghoudt (1940), utilizó la analogía con el flujo radial hacia el pozo (vertical) y el flujo hacia al dren de tubos, para encontrar una solución aproximada para el caso de drenes de tubos en suelo homogéneo.

a) Primer caso de la ecuación de Hooghoudt para flujo radial

Capa impermeable a gran profundidad, se supone  $D = \infty$  (ver fig. 2.1.3).

Se muestra fácilmente que si  $\phi$  designa el potencial,  $r$  la distancia desde la línea del centro del dren a un punto cualquiera y  $Q$  es el flujo total hacia al dren por unidad de longitud del mismo; entonces el potencial con respecto a un dren en un medio homogéneo se puede obte-

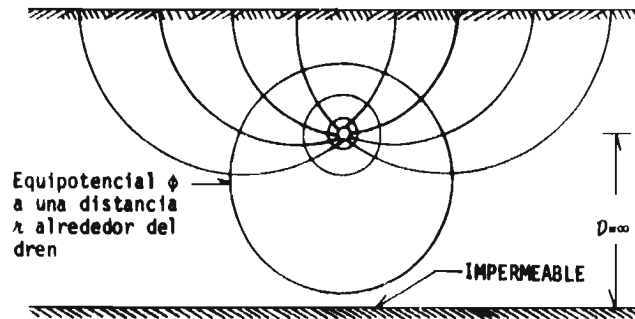


Fig. 2.1.3

ner a partir de Darcy, como se muestra a continuación:

$$Q = K \cdot i \cdot A = K \frac{d\phi}{dr} (2\pi r \times 1) = K \frac{d\phi}{dr} (2\pi r)$$

Ahora integrando resulta que

$$\phi = \frac{Q}{2\pi K} L_n r$$

En forma similar, la distribución del potencial para una región de flujo semicircular está dada por:

$$\phi = \frac{Q}{\pi K} L_n r$$

Por otra parte, si una cantidad "n" de drenes de tubos - fuesen instalados, paralelos entre sí, el potencial en - cualquier punto (el flujo es lineal porque tiene poten-- cial por lo que los efectos pueden sumarse), podría ex--

presarse como la suma de los potenciales debidos a cada dren, o sea que:

$$\phi = \frac{Q}{\pi K} \sum_{-\infty}^{\infty} L_n \lambda_n$$

en donde  $\lambda_n$  es la distancia del punto, desde el centro "n-simo" dren.

En la práctica, hay interés en la diferencia de potencial entre dos puntos, más que en su valor absoluto. Si un punto A se toma en la circunferencia de un dren y otro B; a la mitad entre dos drenes de una cantidad infinita en el plano que pasa a través de sus ejes (ver fig. 2.1.4); entonces, la diferencia de potencial se puede escribir como:

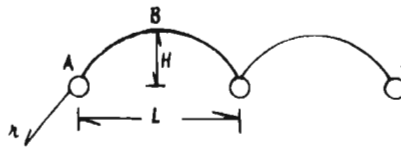


Fig. 2.1.4

$$\Delta\phi = \phi_B - \phi_A = H = \frac{Q}{\pi K} \left[ \sum_{-\infty}^{\infty} L_n \lambda_{B_n} - \sum_{-\infty}^{\infty} L_n \lambda_{A_n} \right] \quad (2.1.3)$$

aquí  $\lambda_{A_n}$  representa la distancia desde el centro del "n-simo" dren al punto A y  $\lambda_{B_n}$  la distancia al punto B. Pero el va--

lor de esta sumatoria es:

$$H = \frac{Q}{\pi K} L_n \frac{L}{\pi r_0} ; \text{ como } Q = C_d L(1) \text{ entonces}$$

$$H = \frac{C_d L}{\pi K} L_n \frac{L}{\pi r_0} \quad (2.1.4)$$

donde  $r_0$  = al radio del dren. La demostración de  $\frac{L}{\pi r_0}$  se puede observar en el APENDICE que se localiza en la parte final del trabajo.

Esta última ecuación se emplea para calcular  $L = f(D, r_0)$

Cuando  $D \approx \infty$ , emplear gráfica III con  $u = \pi r_0$

Cuando existe flujo por debajo de los drenes (ver fig. 2.1.5) se tiene que:

$$L^2 = \frac{8KD H}{C_d} \quad \text{o bien} \quad L^2 = \frac{8KD_e H}{C_d} \quad \text{de donde}$$

$$H = \frac{L^2 C_d}{8KD_e} \quad (2.1.5)$$

Ahora, igualando las ecuaciones (2.1.4) y (2.1.5) se obtiene

$$D_e = \frac{\pi L}{8} \frac{1}{L_n \frac{L}{\pi r_0}} \quad (2.1.6)$$

donde  $D_e$  es denominado espesor del estrato equivalente.



Estrato o capa equivalente es un espesor teórico en el cual solamente ocurre flujo horizontal (ver fig. 2.1.5) y que --- reemplaza a la situación real de un dren (tuberfa) con flujo horizontal y flujo radial.

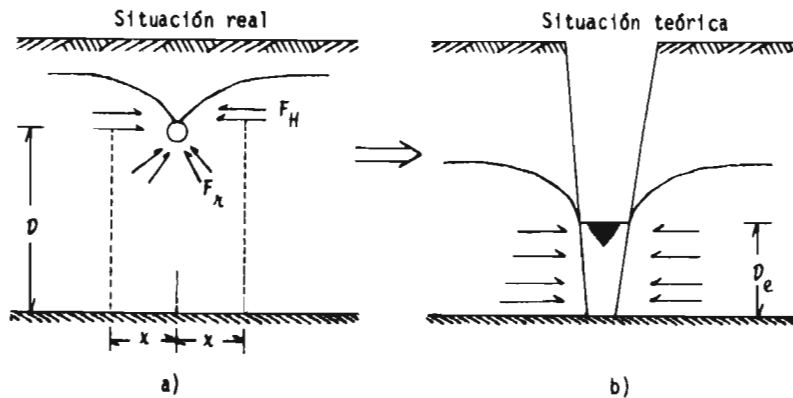


Fig. 2.1.5

b) Segundo caso de la ecuación de Hooghoudt

La profundidad de la capa impermeable está a una distancia finita.

La distancia en la que se produce el flujo radial es  $x$  y tiene un valor:  $x = D/\sqrt{2} \approx 0.7 D$ , por lo que el flujo horizontal se producirá en la distancia  $L-2x = L-1.4D$ ; --- (ver fig. 2.1.5.a).

La situación real (mostrada en la fig. 2.1.5.a) con flujo horizontal y radial ha sido transformada a una situación teórica de flujo horizontal (fig. 2.1.5.b), median-

te el empleo del estrato equivalente, por lo que:

$$L^2 = \frac{8 K_2 D_e H}{C_d} + \frac{4 K_1 H^2}{C_d} \quad (2.1.7)$$

El espesor del estrato equivalente ha sido tabulado por Hooghoudt, en función de la distancia  $D$ , y el espaciamiento entre drenes,  $l$ ; (ver tablas I, II y III).

Es posible calcular la magnitud del espesor del estrato equivalente, de las siguientes formas:

a) Por medio de las tablas I, II y III

Observaciones sobre dichas tablas:

- 1)  $D_e$ , es directamente proporcional a  $D$
- 2) Cuando  $D > L/4$   $D_e =$  constante, y cuando esto sucede el flujo es enteramente radial
- 3) Las tablas mencionadas son para  $\lambda = 5, 7.5$  y  $10$  cm

b) Por medio de fórmulas

$$D_e = \frac{\pi L}{8 L_n \left(\frac{L}{u}\right)} = \frac{\pi L}{8 L_n \left(\frac{L}{\lambda_0}\right) - 1.145}$$

donde:

- $u =$  perimetro mojado del dren  $\approx \pi \lambda_0$   
(permite transformar un dren en una zanja y viceversa).

$$L^2 = \frac{8 K_2 D_e H}{C_d} + \frac{4 K_1 H^2}{C_d}$$

Con esta última fórmula, la solución es por tanteos, se supone un valor para  $L$  y se emplean las tablas I, II y III para obtener  $D_e$ , si el valor fué el correcto entonces debe de compararse con la ecuación anterior, si no concuerda la igualdad entonces debe suponerse otro nuevo valor para  $L$  y repetirse el procedimiento.

c) Mediante la gráfica  $I_a$

Para el diseño de drenes mediante zanjas, se pueden emplear las gráficas  $I_b$  o  $I_c$ . Para ello se tiene que utilizar la siguiente expresión para el perímetro mojado:

$$u = b + 2d \sqrt{m^2 + 1} \quad (2.1.8)$$

donde:

- $b$  es el ancho de la zanja
- $d$  es el tirante
- $m$  es el talud

b) Principios de la ecuación de Ernst

La ecuación de Ernst es aplicable a dos capas de suelos. Dicha ecuación es aplicable a los tres casos de la fig.- 2.1.2 y asimismo es aplicable a suelos con la intercarade las dos capas por debajo del nivel de los drenes.

Ernst consideró que el flujo que se dirige a los drenes, sean estos por zanjas de drenaje o tuberías, tiene tres componentes: una vertical (V), una horizontal (H) y una radial (R); ver fig. 2.1.6.

Por lo tanto, la carga hidráulica total necesaria para que el agua fluya hacia el dren será igual a la suma de las resistencias al flujo, esto es:

$$H = h_V + h_H + h_R \quad (2.1.9)$$

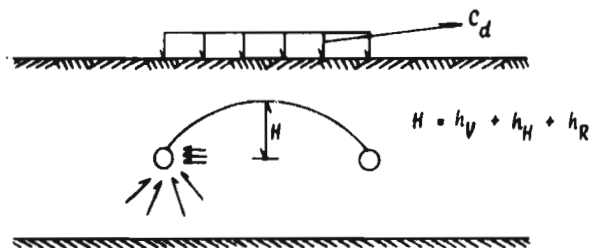
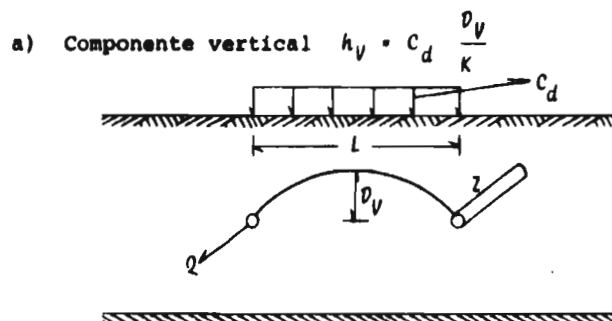


Fig. 2.1.6



donde  $D_v/K$  es llamada resistencia vertical. Generalmente, los valores de la componente vertical son casi despreciables.

b) Componente horizontal

Ernst supone que el flujo ocurre en la parte inferior de los drenes, más la mitad de la carga hidráulica en el punto medio de manera que (ver fig. 2.1.7):

$$L^2 = 8K \frac{D_o H}{C_d} + 4KH \frac{H}{C_d} = 8K \frac{H}{C_d} (D_o + \frac{H}{2}) = 8K \frac{H}{C_d} D_1$$

$$D_1 = D_o + H/2 \quad ; \quad h_H = \frac{L^2 C_d}{8K D_1}$$

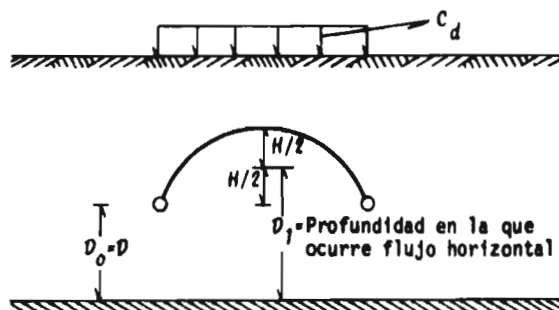


Fig. 2.1.7

Ahora, cuando existen varios estratos por debajo del nivel de drenes, se tiene que (ver fig. 2.1.8):

$$KD_1 = \sum_{i=1}^n K_i D_i \quad ; \text{ o sea } KD_1 = K_1 D_1 + K_2 D_2 +$$

$$+ K_3 D_3 + \dots + K_n D_n \quad (2.1.10)$$

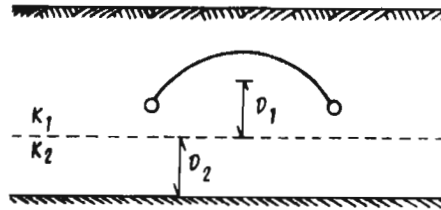


Fig. 2.1.8

c) Componente radial

$$h_R = C_d L W \quad ; \quad \text{Con } Z = 1$$

Ahora, uniendo todas las expresiones se obtiene la carga hidráulica total que es necesaria para vencer las tres - resistencias al flujo, o sea:

$$H = h_V + h_H + h_R$$

$$H = C_d \frac{D_V}{K} + C_d \frac{L^2}{8KD_1} + C_d L W \quad (2.1.11)$$

Donde  $W$  es la resistencia radial; es diferente para cada caso y serán tratados en seguida.

La última ecuación es de segundo grado en  $L$  de la forma:

$$AL^2 + BL + C = 0 \quad \text{donde} \quad A = 1, \quad B = C_d W \quad \text{y}$$

$$C = C_d \frac{D_V}{K} - H$$

de la cual se obtiene  $L$ , tomándose el valor positivo

A continuación se tratarán los diferentes casos de la ecuación de Ernst.

Caso I: El dren se encuentra en el estrato superior, es decir, que el suelo bajo el dren consiste de dos estratos diferentes.

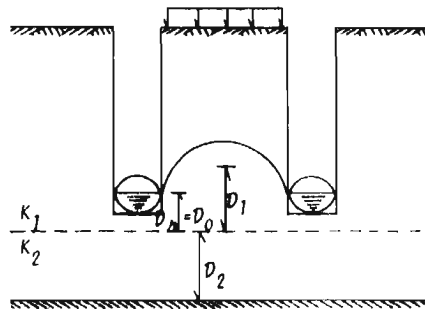


Fig. 2.1.9

$$W = \frac{1}{\pi K_1} L_n \left( \frac{aD_h}{P} \right) \quad (2.1.12)$$

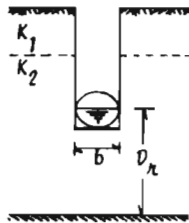
donde:

$P$  es el perimetro mojado

$a = f$  (conductividad hidráulica y de los espesores - de los estratos permeables)

La solución se obtendrá utilizando la gráfica III<sub>b</sub> y la ec. (2.1.11); ahora, si  $K_2/K_1 > 50$  entonces  $a = \text{constante} = 4$ .

Caso II: El dren, se encuentra en el estrato inferior, o el suelo bajo el dren es homogéneo



$$W = \frac{1}{\pi K_2} L_n \frac{D_h}{P} ; D_h < L/4 \quad (2.1.13)$$

$$W = \frac{1}{\pi K_2} L_n \frac{L}{P} ; D_h > L/4 \quad (2.1.14)$$

Fig. 2.1.10

Caso III: El dren se encuentra en el límite de los dos estratos

$$W = \frac{1}{\pi K_2} L_n \frac{4D_h}{\pi b} \quad (2.1.15)$$



o sea

$$D_2 = D_n = D_o = D \quad (\text{ver fig. 2.1.9})$$

Ecuaciones de Ernst para drenaje por zanjas

Caso a) Suelo homogéneo y  $D_o < L/4$

$$H = \frac{C_d L^2}{8K_1 D_1} + \frac{C_d L}{\pi K_1} L_n \frac{D_o}{U} \quad (2.1.16)$$

Donde la componente vertical se desprecia, y  $U = b+2d \sqrt{m^2+1}$ .

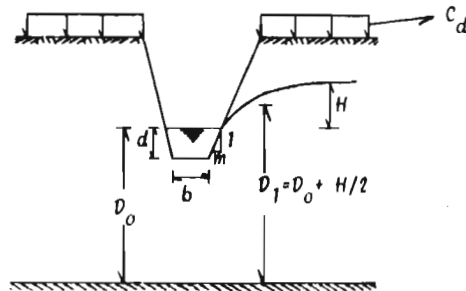


Fig. 2.1.11

La solución se puede obtener en forma matemática con la ecuación (2.1.16) o con la gráfica III<sub>b</sub>.

Caso b) El nivel de agua en el dren coincide con la intercapa de dos capas de suelo.

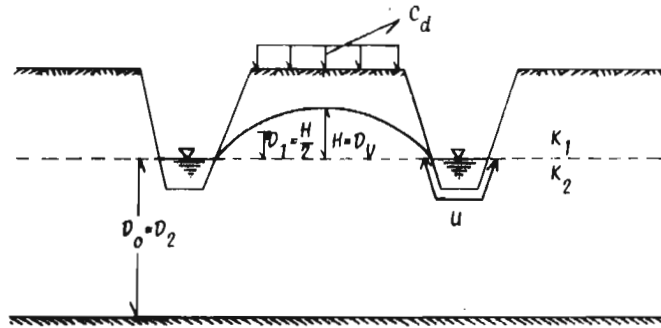


Fig. 2.1.12

Si  $K_1 \gg K_2$ , entonces  $h_V = 0$  y por lo tanto

$$H = \frac{C_d L^2}{8 (K_1 D_1 + K_2 D_2)} + \frac{C_d L}{\pi K_2} L_n \left( \frac{D_0}{u} \right) \quad (2.1.17)$$

Si  $K_1 \ll K_2$  (ver fig. 2.1.12)

$$H = C_d \frac{D_V}{K_1} + \frac{C_d L^2}{8 K_2 D_2} + \frac{C_d L}{\pi K_2} L_n \left( \frac{D_0}{u} \right) \quad (2.1.18)$$

Si  $K_1 \ll \ll K_2$ ; entonces se debe utilizar Hooghoudt (ec. 2.1.7)

Caso c) El dren se encuentra completamente en la capa superior

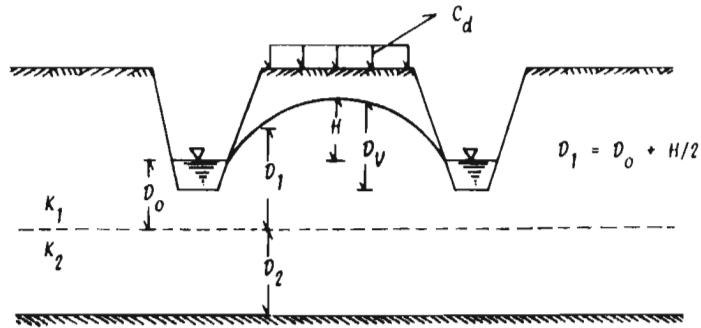


Fig. 2.1.13

$$H = C_d \frac{D_V}{K_1} + \frac{C_d L^2}{8(K_1 D_1 + K_2 D_2)} + \frac{C_d L}{\pi K_1} L_n \left( a \frac{D_0}{u} \right) \quad (2.1.19)$$

donde  $a$  se obtiene de la gráfica 177<sub>a</sub>

## 2.2 Flujo no Establecido o no Permanente

### a) Ecuación de Glover-Dumm (1954)

Considerando la ecuación de Boussinesq, es decir la ec. (1.1);

$$\frac{S}{KD} \frac{\partial y}{\partial t} = \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \quad (2.2.1)$$

Para la solución de la ecuación pueden especificarse las condiciones límites siguientes:

$$y = y_0 = \frac{C_d}{S} \quad 0 < x < L \quad y \ t = 0 \quad (\text{nivel freático inicialmente horizontal}).$$

$$y = 0 \quad x = 0, \ x = L \quad y \ t > 0 \quad (\text{nivel freático a nivel de los drenes}).$$

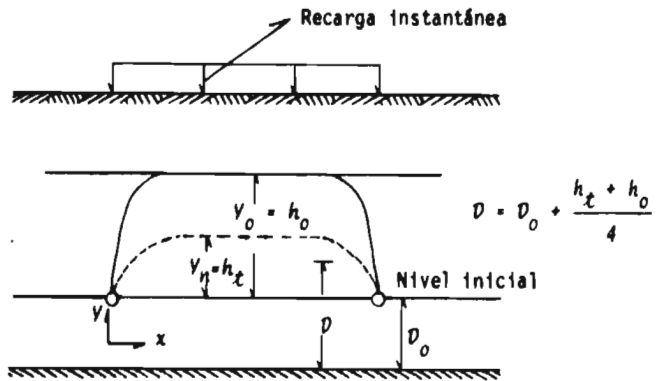


Fig. 2.2.1

Una solución de la ecuación de Boussinesq bajo las condiciones límites mencionadas será:

$$y(x, t) = y_0 \frac{4}{\pi} \sum_{n=1, -3, 5, -7, 9}^{\infty} \frac{1}{n} e^{\frac{-n^2 \pi^2 K D}{S L^2} t} \operatorname{sen} \frac{n \pi x}{L} \quad (2.2.2)$$

Para hallar  $y$ , en una distancia  $x$  cualquiera, nos interesa:

$$V = V_0 = h_0 \quad \text{en el tiempo} \quad t = 0$$

$$V \left( \frac{L}{2}, t \right) = h_t$$

Como:

$$\text{Sen } \frac{n\pi x}{L}, \text{ para } x = L/2 \text{ es } \text{Sen } \frac{n\pi L}{2L} = \text{Sen } \frac{n\pi}{2}$$

entonces, para:

$$\begin{array}{lll} n = 1 & \text{sen } \frac{\pi}{2} = 1 \\ n = -3 & \text{sen } \frac{-3\pi}{2} = 1 \\ n = 5 & \text{sen } \frac{5\pi}{2} = 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \end{array}$$

Por lo tanto, la serie se convierte en:

$$h_t = h_0 \frac{4}{\pi} \sum_{n=1, -3, 5, -7, 9}^{\infty} \frac{1}{n} e^{\frac{-n^2 \pi^2 K D}{S L^2} t} \quad (2.2.3)$$

Esta ecuación es válida solamente para el punto medio entre-drenes; sin embargo la ec. (2.2.2) es, general, para cualquier distancia  $X$ .

Ahora, haciendo:

$$\frac{S L^2}{\pi^2 K D} = J, \quad \text{expresado en días } y$$

Sustituyendo este valor en la ec. (2.2.3), resulta que:

$$h_x = h_0 \frac{4}{\pi} \sum_{n=1, -3, 5, -7, 9}^{\infty} \frac{1}{n} e^{-n^2 \frac{x}{J}} \quad (2.2.4)$$

Ahora bien, cuando  $n = -3$  o también para  $n = 5$ , entonces ---  
 $-\frac{1}{3} e^{-9x/J}$  y  $\frac{1}{5} e^{-25x/J}$  son valores pequeños y por lo tan-  
 to se puede obtener una solución aproximada con el primer --  
 término ( $n = 1$ ), o sea que

$h_x = h_0 \frac{4}{\pi} e^{-x/J}$  ó  $h_x = 1.273 h_0 e^{-x/J}$ ; ahora ----  
 reemplazando el valor de  $J$  y despejando a  $L^2$  se obtiene:

$$L^2 = \frac{\pi^2 KDx}{S L_n \left(1.273 \frac{h_0}{h_x}\right)} \quad (2.2.5)$$

Sin embargo, todo lo expuesto hasta aquí, el valor de 1.273-  
 se consideró cuando la superficie freática es plana inicial-  
 mente ( $x = 0$ ); ver fig. 2.2.1.

La ec. (2.2.5) se utiliza para el espaciamiento de drenes. -  
 La  $x$  es el tiempo necesario para que el nivel freático baje-  
 desde una posición,  $h_0$ , hasta,  $h_x$  (dfas).

Ahora, recordando que:  $D = D_0 + \frac{h_x + h_0}{4}$  (2.2.6)

donde

$D$  es el espesor del estrato donde ocurre el flujo hori-  
 zontal

$D_0 = D_e$  debe ser reemplazado por el valor de una capa en la-

que ocurre sólo el flujo horizontal y para lo cual - se emplea el criterio de Hooghoudt (usar tablas, gráficas o fórmulas para calcular  $D_e$ ).

Por otra parte, cuando la superficie freática es una parábola de cuarto grado el valor 1.273 debe ser reemplazado en la ec (2.2.5) por el valor 1.16, con lo cual dicha ecuación resulta finalmente:

$$L^2 = \frac{\pi^2 KDt}{S L_n \left(1.16 \frac{h_o}{h_t}\right)} \quad (2.2.7)$$

Para la solución por este método, se requiere emplear la gráfica V y posteriormente se puede terminar por tanteos, o con las gráficas, tablas o fórmulas para calcular el espesor del estrato equivalente ( $D_e$ ).

#### **METODOS DE CONSTRUCCION**

Dentro de los métodos de construcción, existen diferentes aspectos que son recomendables para cualquiera que sea el que se utilice; dichos aspectos son mencionados brevemente a continuación

##### **Instalación de las tuberías de drenaje**

La instalación de un sistema de drenaje subterráneo es la clave del éxito de su buen funcionamiento. En la actualidad se cuenta con una gran variedad de materiales utilizados para tuberías de drenaje, de los cuáles, se citan algunos tales como:

##### **Drenes de barro cocido**

He aquí las principales reglas a seguir en el momento de la-



instalación del dren de barro cocido:

- Utilizar tuberías en buen estado
- Nivelar bien el fondo de la trinchera y cavar para el dren, un asiento en forma de semicírculo o de V
- Mantener una pendiente uniforme
- Alinear bien los drenes
- Apretar o estrechar lo más posible las uniones entre las tuberías
- En las curvas demasiado anchas, recubrir de material más grueso las juntas
- Para unir un dren a un colector, utilizar uniones prefabricadas o recubrir la unión de material grueso como pedacera del barro cocido o material triturado

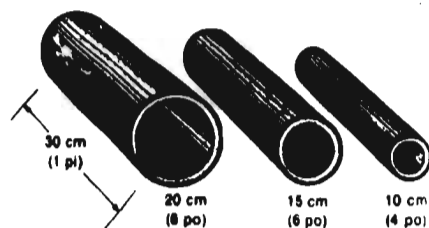


Fig. 3.1 Tubería de barro cocido

### Drenes de polietileno

La instalación de un dren de polietileno necesita una atención tan cuidadosa como la de un dren de barro, atención que con frecuencia se pasa por alto ya que se presenta en la forma de tubos largos y flexibles. Las principales reglas para su instalación son:

- Nivelar bien el fondo de la trinchera y cavar para el dren, un asiento en forma de semicfrculo
- Mantener una pendiente uniforme
- Colocar en línea recta el tubo en el fondo de la trinchera
- No estirar el tubo: se disminuirá su resistencia mecánica al aplastamiento
- Utilizar e instalar bien las juntas prefabricadas

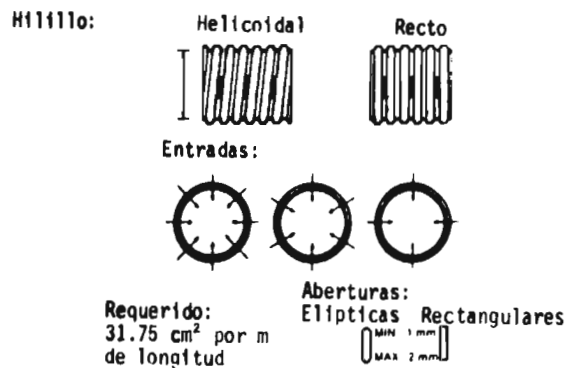


Fig. 3.2 Tuberfa ondulada en polietileno

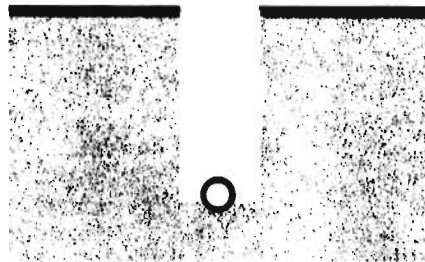


Fig. 3.3 Cavar en el fondo de la trinchera un asiento para el dren

Cualquiera que sea el tipo de tubería utilizada, la instalación se efectúa de la parte más baja del terreno hacia la parte más alta. Una vez que se excava la trinchera profundamente, la parte demasiado excavada debe rellenarse con grava bien acomodada. En ningún momento, debe tolerarse una contrapendiente y el final del dren debe cerrarse adecuadamente. Durante la instalación deben observarse todas las reglas de seguridad a fin de no poner en peligro la vida de los hombres. Los hombres trabajando en el fondo de la trinchera deben estar en el interior de una caja protectora o debe excavarse la trinchera de manera que se elimine el riesgo del desplome de las paredes.

ANALISIS COMPARATIVO DE LOS MATERIALES ANTES MENCIONADOS:

TUBERIA DE DRENAJE

Características de las tuberías de drenaje de barro cocido y polietileno ondulado

	BARRO COCIDO	POLIETILENO ONDULADO
Composición	Esquisto arcilloso o arcilla horneada a 1200°C.	Compuesto termoplástico a base de polietileno.
Resistencia al Aplastamiento.	Con la experiencia, esta resistencia no presenta ningún problema si la tubería se instala en condiciones normales.	Después de una experiencia ejecutada en el Colegio McDonald*, esta tubería no presenta ningún problema al aplastamiento para las cargas normales que circulan por la granja. Esta resistencia disminuye un 40% cuando la temperatura de la tubería pasa de (21 a 38°C). Disminuye también cuando se estira la tubería durante la instalación. El soporte lateral es el que proporciona la resistencia a la tubería.
Resistencia a la helada.	La tubería regular es buena para unos 36 ciclos de helada y deshelada, no es absolutamente aconsejable colocarla al aire libre como boca de descarga.	Ensayos efectuados en el Colegio McDonald han demostrado la gran resistencia de esta tubería a la helada. Después de 36 ciclos de helada y deshelada no mostró ningún deterioro.
Peso	La tubería de barro cocido de 10 centímetros pesa 3 kilogramos -- por 30 centímetros (6 libras por pie).	La tubería de polietileno de 10 centímetros pesa 0.44 kilogramos por metro --- (0.3 libras por pie). Un rollo de 85 metros (250 pies) puede fácilmente transportarse por un solo hombre.

\* QUEBEC, CANADA

### BARRO COCIDO

Descarga	Función de la pendiente y del -- diámetro; alrededor del 30% supe- rior que en las tuberías de po- lietileno ondulado del mismo diá- metro.
Duración	Una experiencia de más de 50 --- años muestra que esta tubería, - enterrada en el suelo, conserva sus propiedades.
Instalación	Cuidado al emplear para la ali- neación. Posibilidad de fractura en el mo- mento de instalarse. Automatización difícil.
Calidad	Ser exento de fisuras, de bolas. Dar un sonido claro, al golpear- se con un objeto metálico. Ser el más uniforme posible y -- lustroso en el interior. Resistir a la helada si se alma- cena en un lugar seco.
Diámetro Disponibles	10 cm. (4 pulgadas) 15 cm. (6 pulgadas) 20 cm. (8 pulgadas) 25 cm. (10 pulgadas)

### POLIETILENO ONDULADO

Función de la pendiente y del diámetro; alrededor del 30% inferior que en las - tuberías de barro cocido del mismo diá- metro.
Breve experiencia.
Cuidado al emplear en zonas rocosas. Ventajoso en las pendientes fuertes y - en suelos orgánicos. Automatización fácil.
Ser uniforme en cuanto a color, opaci- dad y densidad. Ser homogéneo y libre de grietas, pica- duras, burbujas u otros defectos a sim- ple vista. Su resistencia puede evaluarse al pre- sionarse entre las manos: en condicio- nes normales de presión, se deforma po- co. Regido por la norma de fabricación B.N. Q. 3624-120 del Bureau de Normalisation du Québec (Canada).
10 cm. (4 pulgadas) 15 cm. (6 pulgadas) 20 cm. (8 pulgadas)

## Filtros para drenes subterráneos

### Objetivo

El objetivo del filtro es el de impedir la entrada al dren de material que podría a la larga bloquearlo. El filtro sin embargo, debe permitir la entrada del agua.

Los suelos arenosos y los que tienen un alto contenido de limos requieren de filtros. El problema de infiltraciones es particularmente agudo en un suelo con una fuerte proporción de arena muy fina (50 a 100 micras). Por otra parte, los suelos arcillosos no requieren de filtros pues las partículas de arcilla se aglomeran para formar agregados que estabilizan el suelo por debajo de las juntas y de los agujeros de los drenes.

Se han experimentado en los últimos años varios tipos de filtros. La investigación se enfoca a evaluar diferentes materiales, encontrar nuevos materiales y desarrollar mejores técnicas de utilización de los filtros que mejoren la eficacia del drenaje en los suelos arenosos e inestables.

### Materiales filtrantes

- Papel de fibra de vidrio

Disponibles en rollos de 300 y 500 m. de largo y de 30 y 50 cm. de ancho.

Las fibras de vidrio se ligan entre sí por una resina, - para formar una malla que impide que pasen las partícu-- las de suelos pero que permite al agua atravesarla fáci] mente. Este material es frágil y debe instalarse con -- cuidado sobre las tuberías.

- Fibras de poliéster

Disponible en rollos de diversas longitudes y ya enrolla do alrededor de la tubería. La malla es lo bastante fi- na para impedir que la atraviesen las partículas finas - de arena y de limo. Este material es bastante frágil. - Los drenes envueltos deben conservarse en el interior de sacos de plástico a fin de protegerlos durante la trans- portación y el almacenamiento.

- Papel filtro en nylon

Este material posee características idénticas al papel - filtro en poliéster.

- Combinación tela fibra de vidrio

Este material es menos quebradizo que la fibra de vidrio y puede enrollarse alrededor de la tubería. Sin embargo es frágil y debe tratarse con el mismo cuidado que el pa pel filtro de poliéster.

Nuevo, este material compuesto de tela y de fibra de vi-

drio presenta una resistencia a la entrada del agua ligeramente mayor que la del filtro de fibra de vidrio o de poliéster. Teóricamente, la resistencia a la entrada -- del agua disminuye a medida que la tela se disgrega y -- que el suelo se estabiliza alrededor de la tuberfa.

Nota: Algunos investigadores Europeos han observado que la utilización de estos filtros delgados en los -- suelos que contienen una fuerte proporción de fierro libre podría acarrear un estancamiento del filtro después de algunos años.

#### - Paja

La paja se utiliza como filtro desde hace varios años. -- Generalmente, se coloca alrededor de la tuberfa en la -- trinchera. Algunos Europeos colocan sobre la marcha una tuberfa de polietileno envuelta por un filtro de paja. -- Las pajas de lino y de trigo son preferibles a las pajas de cebada o de avena porque se pudren menos rápido.

En el caso de tuberfas de plástico, el filtro de paja debe ser delgado. El suelo debe estar en contacto con el dren a fin de proporcionar un buen soporte lateral y una cierta rigidez para resistir a las cargas. Un filtro de masiado grueso puede disminuir el contacto lateral del -- suelo y acarrear un desplazamiento de la tuberfa en la -- trinchera o un aplastamiento de ella.



- Grava

La grava puede utilizarse alrededor de la tuberfa para formar una envoltura que impide que las partfculas finas de arena penetren en ella y disminuye la resistencia de entrada del agua en la tuberfa. Es necesaria una graduación en el diámetro de partfculas de grava para que funcione como un filtro para la arena. La gran cantidad de material requerido, la dificultad de colocarlo alrededor de la tuberfa, el transporte difícil en los campos frecuentemente húmedos hacen que este material sea poco utilizado. Este tipo de filtro sin embargo se utiliza comúnmente en algunos países.

Técnicas de instalación de los filtros

El filtro debe utilizarse en los suelos que contienen un buen porcentaje de arena y el plano del drenaje debe entonces especificar su empleo. Además, deben tomarse ciertas precauciones en el momento de instalar los drenes. Las tuberfas deben ser completamente recubiertas por el papel filtro. Es preferible para la tuberfa de plástico, emplear aquella envuelta en fábrica. Cuando el fondo de la trinchera es inestable, es aconsejable esperar condiciones más ventajosas. Sin embargo, si los trabajos por efectuar en estas condiciones son de poca importancia, se pueden colocar las tuberfas sobre una cama de grava.

### Terraplenado de trincheras

El terraplenado de las trincheras debera hacerse en dos etapas, un terraplenado inicial y uno final.

#### Terraplenado inicial

El terraplenado inicial consiste en recubrir la tuberfa o el filtro con 15 a 30 cm de suelo superficial o de cualquier otro material permeable (ver fig. 3.4). En suelo rocoso, de be evitarse arrojar piedras directamente sobre el dren.

El terraplenado inicial impide que los drenes se desplacen y se rompan durante el terraplenado final y permite tener alrededor del dren un medio más permeable que el suelo circunvecino. Además, si sobreviene una lluvia antes del terraplenado final, los drenes estan protegidos. Si el suelo contiene rocas, es necesario un terraplenado inicial con un espesor mínimo de 30 cm.

El terraplenado inicial se efectúa frecuentemente con la excavadora.

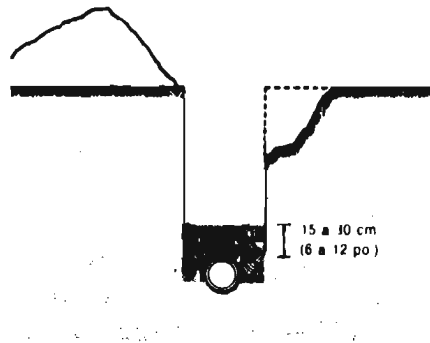


Fig. 3.4 Terraplenado inicial con un suelo superficial poroso

#### Terraplenado final

El terraplenado final puede ejecutarse por un tractor y un cargador frontal, una terraplenadora o un bulldozer. Toda la tierra excavada debe devolverse a la trinchera.

Debe dejarse que el suelo terraplenado se compacte naturalmente y evitar compactarlo con la maquinaria (ver fig. 3.5). Cuando el dren cruza una depresión del terreno o una zanja un mínimo de 60 cm de suelo debe recubrirlo a fin de darle una protección adecuada.

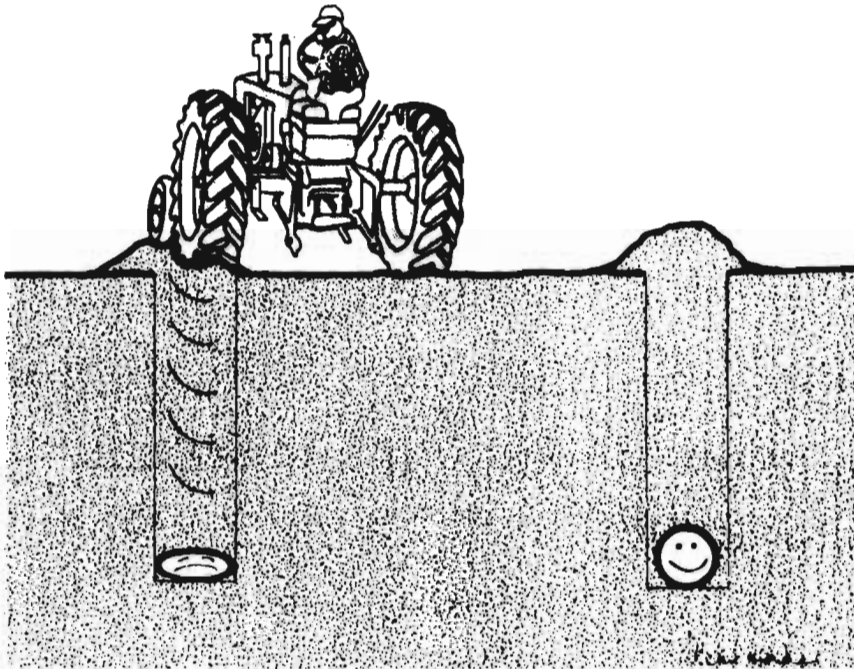


Fig. 3.5 En el terraplenado final, evitar compactar con la maquinaria

Maquinaria utilizada para la instalación del drenaje subterráneo.

Para la instalación del drenaje subterráneo pueden utilizarse diferentes máquinas. Las más empleadas son:

- La retroexcavadora

- Las excavadoras de rueda y de cadena
- El carro-topo

Las retroexcavadoras (con capacidad de cangilón de 0.385 de-  
m<sup>3</sup> o 0.480 m<sup>3</sup> máximo) se emplean generalmente para efectuar-  
los trabajos de drenaje subterráneo de poca importancia en -  
los terrenos rocosos y accidentados. Esta máquina puede tam-  
bién utilizarse en terrenos planos (ver fig. 3.6).

**Ventajas:**

- Versátil
- Puede trabajar sin importar la condición del terreno

**Inconvenientes:**

- Trabaja lentamente
- El fondo de la trinchera debe nivelarse manualmente
- Gran volumen de tierra excavado
- Pendiente uniforme difícil de mantener
- Costo de instalación elevado

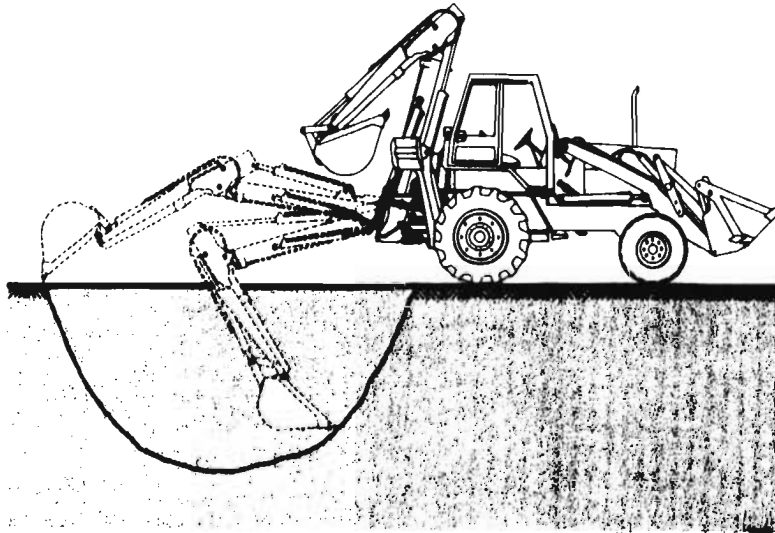


Fig. 3.6 Retroexcavadora

Excavadora de rueda y de cadena

Excavadora de rueda

Esta excavadora presenta una gran rueda montada sobre un chasis en la parte posterior de la máquina. La posición de dicha rueda varía independientemente de la máquina para mantener la pendiente dada. Fijos a esta rueda una serie de canchales llevan el material excavado sobre un transportador automático que lo deposita a uno u otro lado de la trinchera (ver fig. 3.7).

Detrás de la rueda, un escudo impide que el material excavado caiga en la trinchera y una pezuña forma un surco en el fondo de la trinchera a fin de asentar mejor el dren. El es escudo es lo suficientemente largo para mantener una trinchera limpia para la colocación del dren y del material filtrante.

Esta máquina puede cavar trincheras de un ancho de 30 a 55 - cm y una profundidad máxima de 1.80 m. La excavadora puede montarse sobre orugas o neumáticos.

**Ventajas:**

- Puede mantener una pendiente uniforme así como muy pequeña
- Permite vigilar atentamente la colocación de la tubería
- Permite la colocación del material filtrante
- Permite descender fácilmente dentro de la trinchera para reparar las averías
- Permite la instalación de diferentes tipos de tuberías

**Inconvenientes:**

- No puede trabajar en terrenos rocosos
- Gran cantidad de material excavado

### Excavadora de cadena

En este tipo de máquina, la excavación se hace por medio de una cadena sinfin provista de pequeños cangilones que trabajan verticalmente o con un ángulo de  $45^\circ$ . El material excavado se deposita a cada lado de la trinchera. Generalmente, ésta máquina hace una trinchera menos ancha que la excavadora de rueda, 25 a 40 cm.

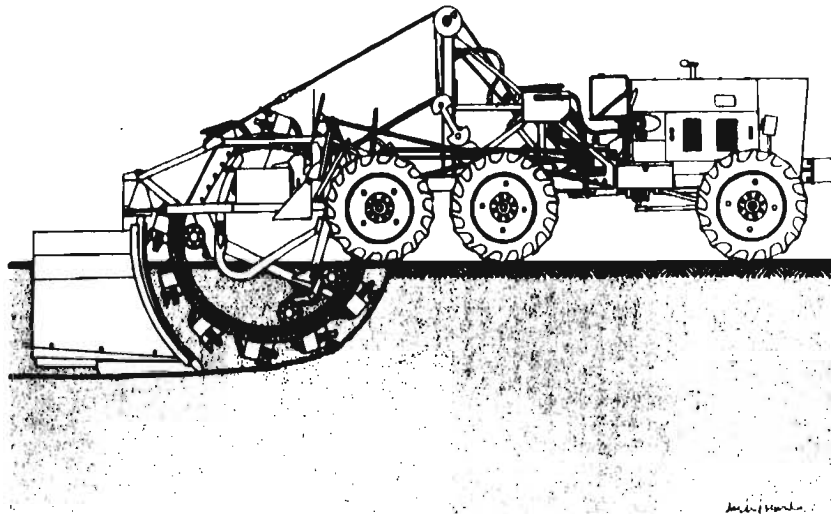


Fig. 3.7 Excavadora de rueda

Ventajas de la excavadora de cadena:

- Puede mantener una pendiente uniforme así como pequeña
- Permite vigilar atentamente la colocación de la tuberfa



- Permite la colocación del material filtrante
- Terraplenado de la trinchera más fácil debido al poco material excavado
- Permite la instalación de diferentes tipos de tuberías

**Inconvenientes:**

- No puede trabajar en los terrenos rocosos
- La trinchera más angosta hace más difícil descender para reparar las tuberías
- Progresa muy lenta y difícilmente en suelos arcillosos saturados (ver fig. 3.8)

**Carro topo**

Este aparato está formado por una pezuña unida a un tractor por medio de brazos y de cilindros hidráulicos. La pezuña cava una galería en el suelo. Los cilindros permiten ajustar la profundidad y la pendiente de la pezuña. En la parte posterior de la pezuña, una tubería permite la entrada del dren y su colocación en el interior de la galería (ver fig. 3.9).

**Ventajas del carro topo:**

- Puede mantener una pendiente uniforme así como pequeña

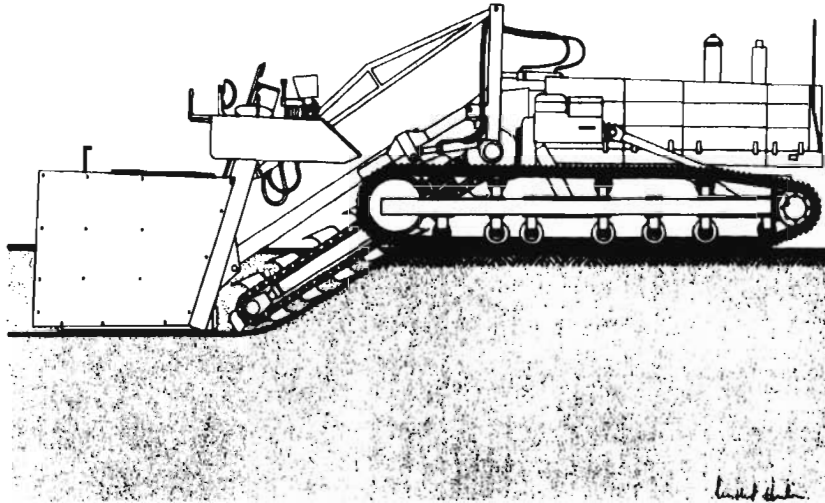


Fig. 3.8 Excavadora de cadena

- Puede hacer el trabajo más rápidamente
- No hay terraplenado de trincheras
- Puede trabajar en suelos ligeramente rocosos

Inconvenientes:

- Correcciones al nivel de la tubería difíciles de realizar
- Limitada a la instalación de tuberías de plástico
- Colocación del material filtrante muy difícil (tubería - envuelta)

- Requiere una excavadora para instalar las tuberías colectoras de 6" o más y una retroexcavadora para hacer las uniones y las correcciones al nivel de la tubería

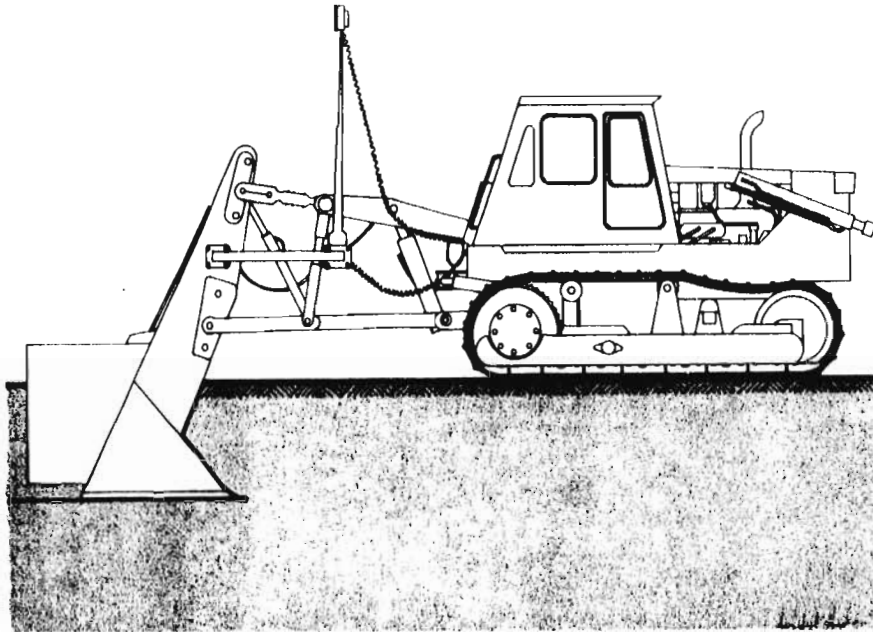


Fig. 3.9 Carro topo

## Estructuras especiales

### Descarga del dren

La descarga del dren constituye un accesorio indispensable para asegurar el buen funcionamiento y la protección adecuada del sistema de drenaje. Sería una mala economía descuidarla durante los trabajos de instalación.

En general, su descarga es al drenaje pluvial, a una corriente natural o en una cierta instalación (por ejemplo un registro). Su descarga debe protegerse suficientemente para resistir a la erosión de los taludes de la corriente. Es aconsejable prever una protección contra el retroceso del agua y de los restos al interior del sistema para cuando se presenten las crecientes.

Una manera práctica y económica de asegurar una buena descarga es la de instalar al extremo del colector una tubería rígida no perforada. Dicha tubería, puede ser de acero o de asbesto cemento. En todos los casos, la tubería rígida debe tener una longitud mínima de 3 m y un diámetro de 5 cm superior al del dren colector. Si el diámetro del dren colector es de 25 cm o más, la tubería rígida debe tener una longitud superior a los 3 m.

Esta tubería debe recubrirse en sus dos terceras partes de cuando menos 60 cm de suelo. La extremidad de descarga en -

la corriente debe estar a 30 cm del nivel del agua normal en el emisario (ver fig. 3.10).

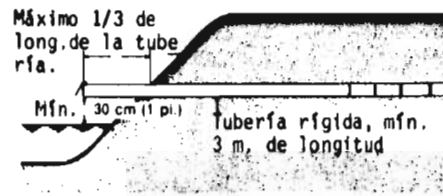


Fig. 3.10 Descarga del dren

Según la importancia de la corriente, puede ser necesario colocar la descarga del dren hacia atrás de manera de protegerla contra el movimiento de los objetos que arrastre la corriente (ver fig. 3.11).

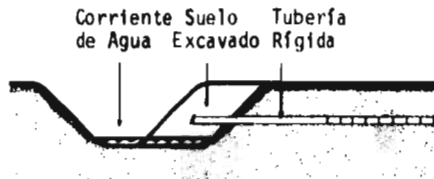


Fig. 3.11 Descarga del dren en una corriente importante

En el caso de corrientes muy profundas, es recomendable colocar una plataforma de concreto o de piedra directamente bajo la descarga del dren a fin de impedir la erosión de los taludes del cauce por el agua del dren (ver fig. 3.12).

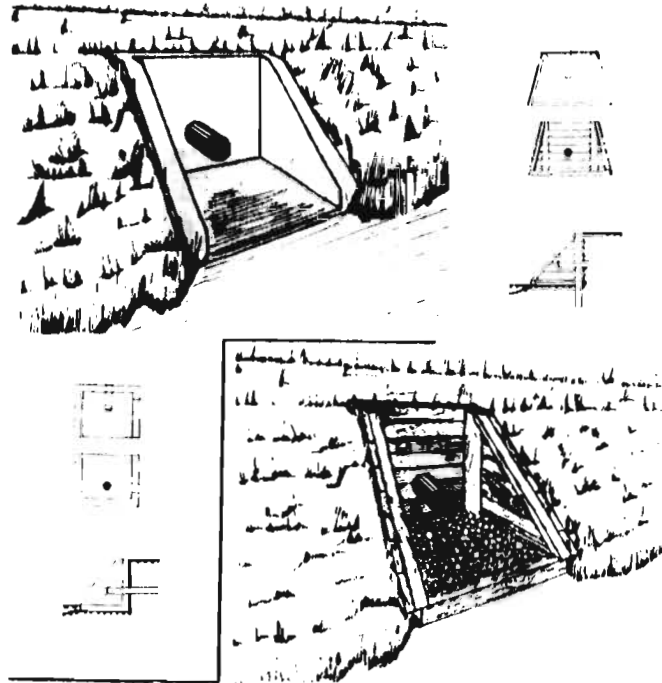


Fig. 3.12 Plataformas de descarga del dren

La descarga del dren puede estar provista de diferentes tipos de boca. En todos los casos, la salida será provista de una rejilla para impedir la entrada de pequeños animales al sistema de drenaje. Las aberturas de la rejilla no deben sobrepasar 2.5 cm (ver fig. 3.13).

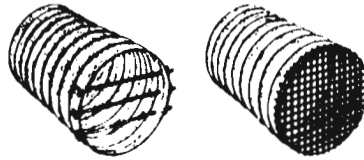


Fig. 3.13 Rejillas que impiden la entrada de pequeños roedores

Puede suceder que durante las crecientes súbitas, el nivel del agua en el emisario se eleve más alto que la descarga. Se recomienda entonces un dispositivo de puerta batiente a fin de impedir que penetre cualquier objeto al colector (ver fig. 3.14).

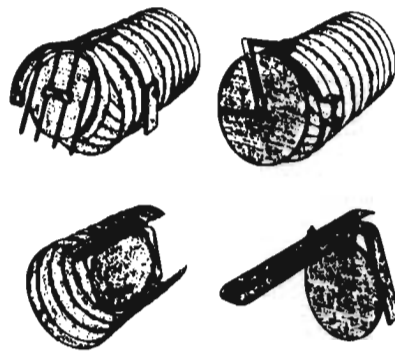


Fig. 3.14 Puertas batientes

La descarga de un sistema de drenaje debe siempre estar limpia a fin de asegurar un escurrimiento libre y rápido del agua. Todos los objetos, sedimentos y vegetación acumulados cerca de la descarga deben retirarse. Se supervisará también el estado de las zanjas. La inspección regular de las descargas en la primavera y después de las tormentas donde el agua se eleva más alto que la descarga es una garantía para el buen funcionamiento del sistema de drenaje (ver fig. 3.15).



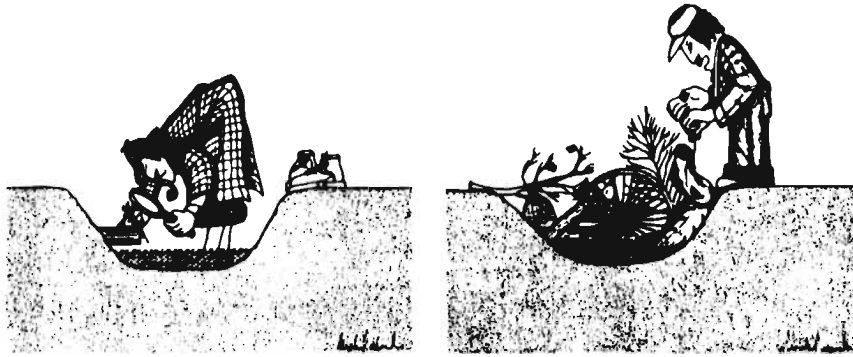


Fig. 3.15. Inspeccionar regularmente las descargas del dren

### Registros

Un registro es una cámara de concreto o de acero galvanizado suficientemente grande para permitir la entrada de un hombre. Sus funciones son las de permitir que varios drenes o colectores se descarguen en uno sólo, observar el funcionamiento de los sistemas de drenaje y recoger los sedimentos transportados por el agua. El registro debe situarse en el lugar menos susceptible de estorbar en los trabajos (fig. 3.16).

### Captación superficial

La captación superficial permite que el escurrimiento en una depresión entre directamente al dren. Debe de instalarse en el punto más bajo de la depresión y en un lugar donde no sea

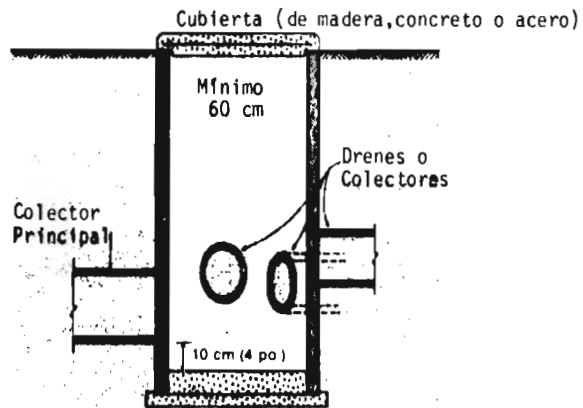


Fig. 3.16 Registros

susceptible de dañarse. El suelo circunvecino debe desenterrarse. La captación superficial no es recomendable en los terrenos erosionables (fig. 3.17).

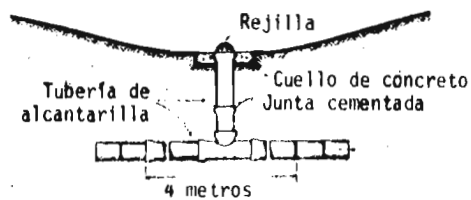


Fig. 3.17 Captación superficial

Trinchera filtrante

En donde la cantidad de escurrimiento es poca y los sedimen-

tos pueden ser importantes, puede construirse una trinchera filtrante. La trinchera filtrante es una trinchera de drenaje rellena de materiales gruesos. La graduación de los materiales filtrantes va del más grueso en el fondo al más fino en la superficie para funcionar como filtro. El suelo de la superficie puede sufrir un azolvamiento (se impermeabiliza) con el tiempo y debe entonces renovarse (ver fig. 3.18).

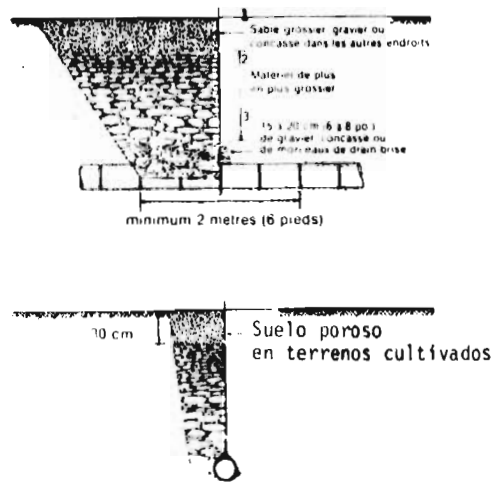


Fig. 3.18 Trinchera filtrante

1. Arena gruesa, grava o material triturado en otros lugares
2. Material poco a poco más grueso
3. 15 a 20 cm de grava, material triturado o pedacera de drenes fracturados

## LIMITACIONES Y MANTENIMIENTO

### Limitaciones

#### Zanjas contra drenes subterráneos

Algunas veces se presenta una elección entre el drenaje subterráneo, tuberías enterradas, y las zanjas, dos técnicas de saneamiento valdeeras.

Las zanjas profundas requieren una inversión inicial mucho menos considerable que el drenaje subterráneo, pero necesitan un mantenimiento periódico (1 año). Además, ocasionan una pérdida de terreno debida mucho más a su efecto restrictivo en la circulación de las máquinas que por la superficie ocupada por las mismas zanjas. La elección de uno u otro sistema debe basarse principalmente en criterios económicos.

### Mantenimiento

El mantenimiento de toda la red de zanjás es muy costoso. -  
Deben dragarse cuando menos una vez por año, rectificar las -  
paredes que se desmoronan fácilmente bajo la acción de las -  
infiltraciones laterales y retirar las hierbas que crecen --  
abundantemente y obstaculizan el escurrimiento.

Delimitación de zonas húmedas en una red obstruída.

Después de que una tubería deja de funcionar, no se tarda mu  
cho en constatar que una zona del lugar está fuera de servi-  
cio, la tierra se vuelve más húmeda y toma un color más obs  
curo que el resto del terreno. Para proceder a las repara--  
ciones necesarias, no hay más que determinar el punto preci-  
so donde se ha producido la falla.

Para el efecto, se marca primeramente por medio de postes el  
lugar sospechoso, de manera de localizarlo posteriormente --  
cuando el suelo se haya secado un poco, pues es conveniente--  
no ejecutar los trabajos en el momento en que la humedad del  
terreno no los haga difíciles. Una vez que las condiciones--  
sean adecuadas, se excava perpendicularmente a la dirección--  
del dren, una pequeña zanja transversal *T* que desciende has-  
ta el conducto (ver fig. A).

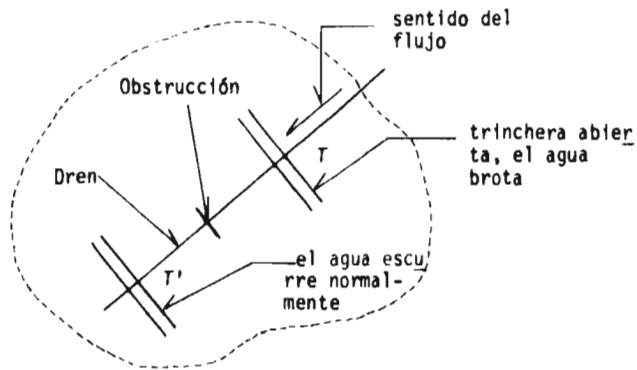


Fig. A Esquema en planta de la zona obstruida

Si en el punto en que se ha abierto el suelo esta muy húmedo y el agua brotará de entre los intersticios, se concluye que el punto obstruido esta situado aguas abajo de la trinchera. Y al contrario hacia aguas arriba si el terreno esta seco y el conducto funciona normalmente. Se excava entonces, según el caso hacia aguas abajo o aguas arriba de esta primera zanja y paralelamente a ella, una segunda trinchera, de esta manera se llega a circunscribir la parte de la tuberfa donde se ha producido la obstrucción. No queda más que reparar el daño, siguiendo la línea del dren entre las dos zanjas, retirar la tuberfa y reemplazarla, teniendo cuidado de tomar todas las precauciones indicadas en métodos de construcción.

Caso de entarquinamiento de la zona aledaña a los drenes

Debe señalarse igualmente el caso donde en una zona más o menos extendida, la eficacia del drenaje disminuye progresivamente por entarquinamiento de los intersticios en el suelo - alrededor de los drenes.

Este caso es muy grave y prácticamente sin remedio. Se manifiesta generalmente por el depósito de un limo muy fino en la zona que rodea inmediatamente al dren, lo que disminuye poco a poco la permeabilidad.

La descarga colectada baja progresivamente en tanto que el agua que llega a pasar es muy clara ya que ha sido filtrada por el limo fino.

Frecuentemente en este caso, la única solución es la reconstrucción de la red entarquinada.

Para evitar que se repita tal fenómeno, es necesario rodear el dren de un filtro o de un material filtrante.

**EJEMPLO NUMERICO**

En una extensa zona de irrigación se han presentado graves - problemas de drenaje que han hecho disminuir notablemente el rendimiento de los cultivos. Esta zona durante la época de riego (1 de enero hasta 31 de mayo) dispone de una recarga - uniformemente distribuida de 4 mm/dfa. La precipitación --- anual que se presenta en dicha zona es despreciable.

Actualmente en épocas de riego el nivel freático se encuen-- tra a 0.5 m por debajo de la superficie del suelo.

Se considera que para mantener la producción de los cultivos y evitar la salinización de los suelos, el nivel freático de be mantenerse a 1 m bajo la superficie del suelo durante la- época de riego y por lo menos a 1.90 m durante el resto del- año.



Considerando las siguientes alternativas, determine el espaciamiento necesario para ambos casos, (ver fig. 5.1) para zanjas y drenes.

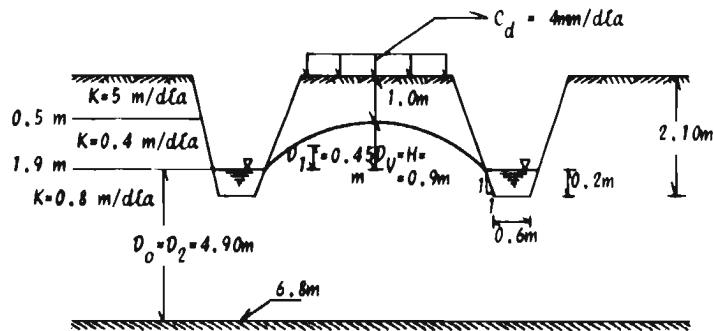


Fig. 5.1

- 1a. Alternativa. Con zanjas de 0.60 m de ancho en el fondo, taludes 1:1. Se pueden profundizar hasta 2.10 m, considere un tirante de agua de 0.20 m (ver fig. 5.1).
- 2a. Alternativa. Con drenes entubados ( $u = 0.30 \text{ m}$ ) instalados a una profundidad de 2 m (con diámetro de 20 cm).

La solución de ambas alternativas, se puede realizar mediante dos formas:

- I Solución analítica
- II Solución gráfica

Solución por zanjas

De la fig. 5.1 se tienen los siguientes datos:

$$D_2 = D_0 = 4.90 \text{ m} ; D_1 = \frac{H}{2} = 0.45 \text{ m} ; K_1 = 0.40 \text{ m/dLa}$$

$$K_2 = 0.80 \text{ m/dLa} ; C_d = 4 \text{ mm/dLa} = 0.004 \text{ m/dLa}$$

también se puede valuar el perfmetro con la ec (2.1.8) o sea

$$u = 0.60 + 2(0.2) \sqrt{(1)^2 + 1} = 1.16 \text{ m}$$

I Solución analftica

Aplicando la ecuación de Ernst para drenaje por zanjas - (caso b), o sea la ec. (2.1.17) y sustituyendo los da---tos, resulta que:

$$0.90 = \frac{0.004 L^2}{8 [(0.4)(0.45) + (0.8)(4.9)]} +$$

$$+ \frac{0.004 L}{3.1416 (0.8)} L_n \left( \frac{4.90}{1.16} \right)$$

$$0.90 = \frac{0.004 L^2}{32.80} + \frac{0.004 L}{2.5133} L_n \quad (4.22)$$

$$0.90 = 0.0001219512 L^2 + 0.00229 L$$

de donde

$$L^2 + 18.8037 L - 7380.00 = 0$$

Ahora, resolviendo la ecuación anterior y tomando la raíz positiva, resulta que:

$$L = 77 \text{ m}$$

## II Solución gráfica

Empleando la gráfica III<sub>b</sub>, para lo cual se necesita:

$$KD = K_1 D_1 + K_2 D_2 \quad ; \quad KD = 0.40 (0.45) + \\ + 0.8 (4.9) = 4.10$$

$$KD = 4.10$$

$$\frac{H}{C_d} = \frac{0.90}{0.004} = 225 \quad ; \quad \frac{H}{C_d} = 225$$

Ahora, calculando la resistencia radial  $w$ , con la ec. -- (2.1.13); y haciendo  $D_n = D_0$  y  $P = U$  entonces

$$w = \frac{1}{3.1416 (0.8)} L_n \left( \frac{4.90}{1.16} \right) = 0.573$$

Con lo anterior ya se tienen los valores necesarios para utilizar la gráfica III<sub>b</sub>, es decir:

$$\begin{aligned} KD &= 4.10 \\ H/C_d &= 225 \\ W &= 0.573 \end{aligned}$$

con lo cual se obtiene que  $L \approx 78 \text{ m}$

### Solución por drenes entubados

#### I Solución analítica

Recordando que:  $H = h_V + h_H + h_R$ , entonces la componente vertical ( $h_V$ ) es calculada como sigue

$$h_V = C_d \frac{D_V}{K_1} = C_d \frac{H}{K_1} = 0.004 \frac{0.90}{0.40} = 0.009 \text{ m}$$

$$h_V = 0.009 \text{ m}$$

la componente horizontal ( $h_H$ ) con:

$$\begin{aligned} h_H &= \frac{C_d L^2}{8 (K_1 D_1 + K_2 D_2)} = \frac{0.004 L^2}{8 [(0.4)(0.45) + (0.8)(4.9)]} \\ &= 0.0001219512 L^2 \end{aligned}$$

$$h_H = 0.0001219512 L^2$$

y la componente radial ( $h_R$ )

$$h_R = C_d L W = C_d L \frac{1}{\pi K_2} L_n \left( \frac{4D}{\pi b} \right)$$

$$h_R = 0.004 L \frac{1}{3.1416 (0.8)} L^n \left( \frac{4 (4.9)}{3.1416 (0.6)} \right) =$$

$$0.004 L (0.9317) = 0.003727 L$$

$$h_R = 0.003727 L$$

Sumando efectos, ec (2.1.9), resulta finalmente que:

$$0.90 = 0.009 + 0.0001219512 L^2 + 0.003727 L$$

$$\text{o bien } L^2 + 30.56 L - 7306.20 = 0$$

$$\text{de donde } L = 71.55 \text{ m} \approx 72 \text{ m} \quad L = 72 \text{ m}$$

## II Solución gráfica

Con la gráfica III<sub>b</sub> y de manera semejante, con

$$KD = 4.10$$

$$\frac{H}{C_d} = 225$$

Y con  $W = 0.9317$ , entonces, resulta que

$$L = 72 \text{ m}$$

Ahora, comparando los valores obtenidos con la solución-analítica y la solución gráfica, se concluye que ambos - métodos de cálculo son satisfactorios.

**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

A continuación se presentan las conclusiones sobre el trabajo:

En general, el drenaje subterráneo:

- a) Permite trabajar el suelo en buenas condiciones
- b) Permite sembrar temprano en verano
- c) Permite una mejor asimilación de los abonos por las plantas
- d) Aumenta el rendimiento de los cultivos
- e) Disminuye los riesgos de enfermedades de las plantas
- f) Permite cosechar en buenas condiciones

- g) Reduce el costo de la mano de obra, el terreno es más fácil de trabajar
- h) Agrandando la superficie de cultivo por la reducción del número de zanjas o de arroyuelos profundos

Considerando todos los inconvenientes, el saneamiento por zanjas abiertas presenta ventajas inobjetables en ciertos casos donde el drenaje por tubos no podría dar buenos resultados. Dichos casos pueden ser:

- a) Evacuación rápida de grandes volúmenes de aguas superficiales
- b) Saneamiento e irrigación combinados
- c) Pequeñas pendientes del terreno por sanear
- d) Drenaje de terrenos de poco valor
- e) Secado de terrenos recuperados en los polders (ganados al mar)

#### Recomendaciones generales

El drenaje subterráneo para ser eficaz requiere de ciertas condiciones mínimas del suelo, tales como:

- a) Que la conductividad hidráulica media sea superior a ---  
0.03 m/dfa

---

ALGUNAS RECOMENDACIONES SOBRE POSIBLES OBSTRUCCIONES

CAUSAS

MEDIDAS PREVENTIVAS

Insuficiencia de la sección

Estudiar adecuadamente el proyecto y dimensionar las de manera que las tuberías sean capaces de llevar una descarga correspondiente al volumen de agua que se supone deben evacuar.

Insuficiencia de la pendiente

Esta causa de obstrucción es más rara en los colectores de un drenaje transversal que en los longitudinales. No debe producirse jamás si el proyecto ha sido estudiado convenientemente y el trabajo convenientemente realizado.

Mala calidad de las tuberías

Si se emplean de mala calidad, que se fracturen, el escurrimiento podría verse interrumpido. Se requiere aquí acudir a buenos fabricantes.

Defectos en la ejecución de los trabajos, por ejemplo mala colocación de tuberías, uniones defectuosas, trincheras mal terraplenadas, etc.

Gran cuidado en el estudio de los proyectos y en la ejecución de los trabajos.

Entrada de pequeños animales en los drenes

Instalar rejillas en las bocas de descarga



Rafces de árboles o arbustos  
que entran en los drenes

Si es imposible alejar suficientemente los drenes de los árboles, se disponen de tal forma que solamente sus extremidades superiores se acerquen a los árboles (fig. A) o bien se prevén drenes protectores (fig. B).

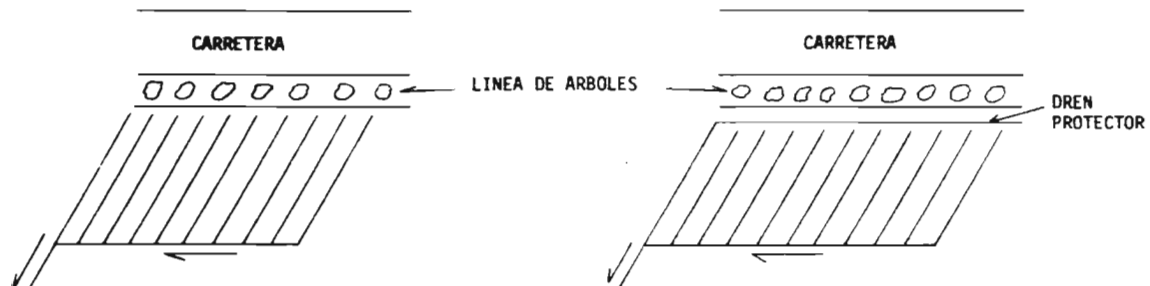


Fig. A Las raíces de los árboles no pueden alcanzar más que la extremidad superior de los pequeños drenes.

Fig. B Se puede colocar un dren protector (dren sacrificado).

- b) Que la profundidad del suelo permeable sea superior a --  
0.90 m
- c) La ausencia de un lecho endurecido e impermeable en la -  
zona de suelo situada por encima de los drenes

Nota: Los suelos que no reúnen estas propiedades mínimas de--  
ben ser objeto de un estudio particular

#### Disposición de los drenes

De manera general, la dirección de los drenes deberá ser con--  
forme a la siguiente tabla:

#### DIRECCION DE LOS DRENES

Valores de la mayor pendiente del terre no	(%)	Dirección de los drenes en - relación a la mayor pendien- te
0	a 0.1	Longitudinal o Transversal
1	a 2	Transversal o Longitudinal
2	o más	Transversal

#### Diámetro de los drenes (D)

El diámetro mínimo recomendado para los drenes es de 0.1 m - ya que se colocan en suelos donde hay riesgo de sedimentación en los drenes.

Los drenes deben tener el mismo diámetro en toda su longitud.

#### Pendiente de los drenes (S)

Para obtener la mejor eficacia de los drenes se les deberá orientar de tal suerte que su dirección no favorezca una pendiente superior a 1.5% en los suelos arenosos y a 2% en los otros suelos.

Los drenes deberán tener una pendiente suficiente para que la velocidad de escurrimiento a tubo lleno sea de 0.40 m/s - en los suelos donde hay riesgos de sedimentación en los drenes.

En ausencia de riesgo de sedimentación en los drenes, la pendiente mínima debe ser de 0.1% para los drenes de 0.10 m de diámetro.

#### Longitud de los drenes (L)

La longitud máxima de los drenes se determinará por medio de los nomogramas 1 y 2 según sea su coeficiente de rugosidad ( $n$ ).

La longitud máxima que se dará a un dren será aquella que -- proporcionará una descarga igual a la máxima descarga (a tubo lleno) para un diámetro y una pendiente hidráulica dadas.

#### Boca de descarga

Para asegurar la evacuación del agua de un dren o un colector a una corriente, una zanja o un depósito debe protegerse la salida con una tubería continua, rígida y no perforada.

Las dimensiones mínimas de la tubería de salida se indican a continuación:

#### DIMENSIONES MINIMAS DE LA TUBERIA DE SALIDA

Diámetro del dren o colector	Longitud mínima	Diámetro Mínimo de la boca de descarga
(mm)	(m)	(mm)
100	3	125
150	3	200
200	4	250
250	4	300
300	5	375

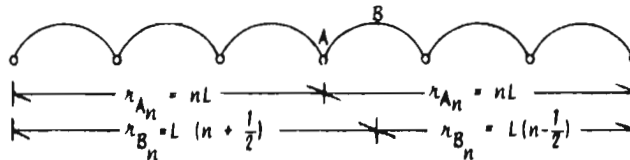
CAPITULO 7

A P E N D I C E

Demostración de  $\frac{L}{\pi \lambda_0}$

Para realizar dicha demostración, hay que tomar en cuenta lo expuesto en métodos de diseño y la siguiente figura; por lo que:

$$\Delta Q = H = \frac{Q}{\pi K} \left[ \sum_{-\infty}^{\infty} L_n \lambda_{B_n} - \sum_{-\infty}^{\infty} L_n \lambda_{A_n} \right]$$



Para  $n = 0$ ;  $\lambda_{B_0} = L/2$  y  $\lambda_{A_0} = \lambda_0$  (ver la figura anterior), por lo tanto

$$H = \frac{Q}{\pi K} \left[ L_n \frac{L}{2} - L_n \lambda_0 + \sum_{-\infty}^{\infty} L_n \left( \frac{n+1/2}{n} \right) + \sum_{-\infty}^{\infty} L_n \left( \frac{n-1/2}{n} \right) \right]$$

o bien

$$H = \frac{Q}{\pi K} \left\langle \sum_{-\infty}^{\infty} L_n \left[ \frac{L}{2\lambda_0} \left( 1 + \frac{1}{2n} \right) \left( 1 - \frac{1}{2n} \right) \right] \right\rangle \quad (1)$$

Ahora bien, para demostrar a que converge  $\left( 1 + \frac{1}{2n} \right) \left( 1 - \frac{1}{2n} \right)$  se aplicará el producto infinito de Wallis; que es lo si----

guiente:

Aplicaciones repetidas de la fórmula recurrente

$$\int_0^{\pi/2} \text{Sen}^n x \, dx = \frac{n-1}{n} \int_0^{\pi/2} \text{Sen}^{n-2} x \, dx \quad \text{para } n > 1$$

que se encuentra en tablas de integrales, dan con facilidad los resultados

$$\int_0^{\pi/2} \text{Sen}^{2k} x \, dx = \frac{2k-1 \cdot 2k-3 \cdot 2k-5 \cdot 2k-7, \dots, 1}{2k \cdot 2k-2 \cdot 2k-4 \cdot 2k-6, \dots, 2} \int_0^{\pi/2} dx \quad (\text{A})$$

$$\int_0^{\pi/2} \text{Sen}^{2k+1} x \, dx = \frac{2k \cdot 2k-2 \cdot 2k-4 \cdot 2k-6, \dots, 2}{2k+1 \cdot 2k-1 \cdot 2k-3 \cdot 2k-5, \dots, 3} \int_0^{\pi/2} \text{sen } x \, dx \quad (\text{B})$$

Calculando las integrales restantes y dividiendo la ec (B) - entre la ec (A), y despejando a  $2/\pi$  se llega a:

$$\frac{2}{\pi} = \frac{1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 7 \cdot 9 \cdot 11 \cdot \dots \cdot (2k-1)(2k+1)}{2 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 4 \cdot 6 \cdot 6 \cdot 8 \cdot 8 \cdot 10 \cdot 10 \cdot \dots \cdot 2k \cdot 2k}$$

$$\frac{\int_0^{\pi/2} \text{Sen}^{2k+1} x \, dx}{\int_0^{\pi/2} \text{Sen}^{2k} x \, dx}$$

Pero el cociente de las dos integrales converge a 1 cuando  $k$  crece. Esto se puede demostrar como sigue. Como  $0 < \text{sen } x < 1$

$$0 < \int_0^{\pi/2} \text{Sen}^{2k+1} x \, dx \leq \int_0^{\pi/2} \text{Sen}^{2k} x \, dx \leq \int_0^{\pi/2} \text{Sen}^{2k-1} x \, dx$$

Dividiendo por la primera integral y usando la fórmula recurrente original,

$$1 \leq \frac{\int_0^{\pi/2} \text{Sen}^{2k} x \, dx}{\int_0^{\pi/2} \text{Sen}^{2k+1} x \, dx} \leq \frac{2k+1}{2k}$$

de modo que el cociente tiene por límite 1. Así,

$$\frac{2}{\pi} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 7 \cdot \dots \cdot (2k-1) \cdot (2k+1)}{2 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 4 \cdot 6 \cdot 6 \cdot \dots \cdot 2k \cdot 2k}$$

que es el producto de Wallis

Con lo anterior, se puede sustituir en la ec (1) y con lo -- cual resulta

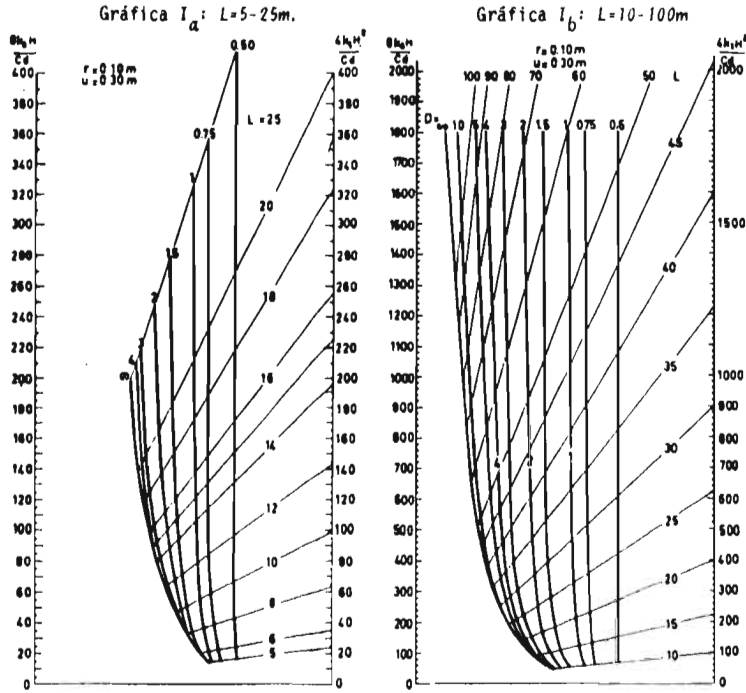
$$H = \frac{Q}{\pi K} L_n \frac{L}{\pi \kappa_0}$$

y con ello queda demostrado dicho término.



GRAFICAS, TABLAS Y NOMOGRAMAS

GRAFICA I. Drenaje por Tubos (Fórmula de Hooghoudt)



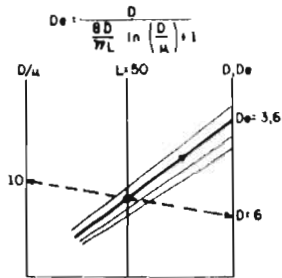
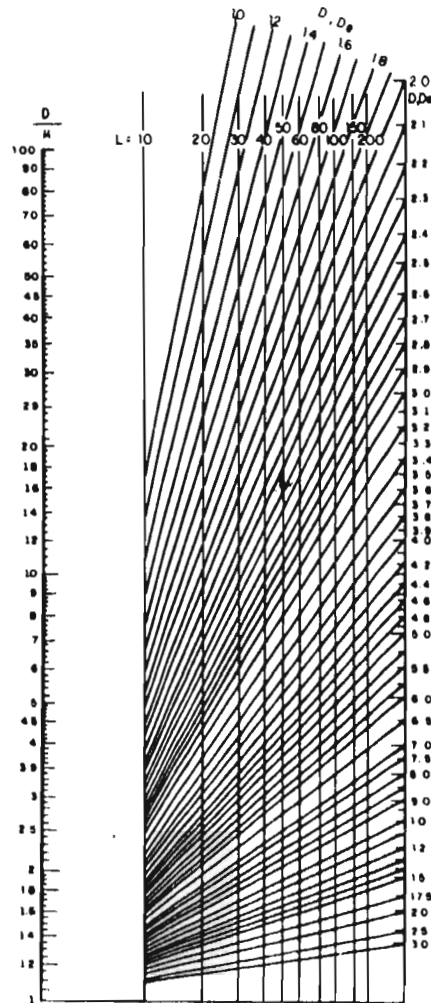
$\frac{h}{C}$  Primer número ;  $\frac{h^2}{C^2}$  Segundo número para varios valores de  $h$  ;  $C$  - C0

h (m)	C (m) (dist)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.1	800-40	400-20	263-13	200-10	160-8	133-10	113-5	100-3	90-3	80-3
0.2	1600-160	800-80	526-33	400-20	320-32	283-30	250-25	220-20	180-10	160-15
0.3	2400-360	1200-120	800-170	600-30	480-70	400-60	343-50	300-45	270-40	240-35
0.4	3200-640	1600-320	1070-213	800-160	640-120	530-110	453-90	400-80	360-70	320-65
0.5	4000-1000	2000-500	1360-333	1000-200	800-200	663-163	570-153	500-123	443-110	400-100
0.6	4800-1440	2400-720	1650-400	1200-240	960-270	800-240	683-203	600-180	533-160	480-155
0.7	5600-1960	2800-980	1940-530	1400-340	1120-340	930-313	800-280	700-243	620-213	560-193
0.8	6400-2560	3200-1280	2160-660	1600-440	1280-410	1070-473	913-363	800-320	710-283	640-253
0.9	7200-3240	3600-1620	2400-800	1800-540	1440-480	1200-540	1030-440	900-403	800-370	720-323
1.0	8000-4000	4000-2000	2700-1130	2000-1000	1600-680	1330-613	1140-570	1000-500	890-443	800-400
1.1	8800-4840	4400-2400	2940-1460	2200-1310	1760-870	1460-803	1280-690	1100-603	980-513	880-463
1.2	9600-5760	4800-2880	3200-1970	2400-1640	1920-1190	1600-960	1370-870	1200-770	1060-610	960-575

Ejemplo  $h=0.8$   $C_0=700$   $\frac{h}{C_0} = 0.70$   $\frac{h^2}{C_0^2} = 0.49$

APPARTE DE Bulletin no 2 SOME NOMOGRAPHS FOR THE CALCULATION OF DRAIN SPACINGS  
International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands, 1963

Gráfica I. Cálculo del valor "De" de Hooghoudt de acuerdo a la fórmula:

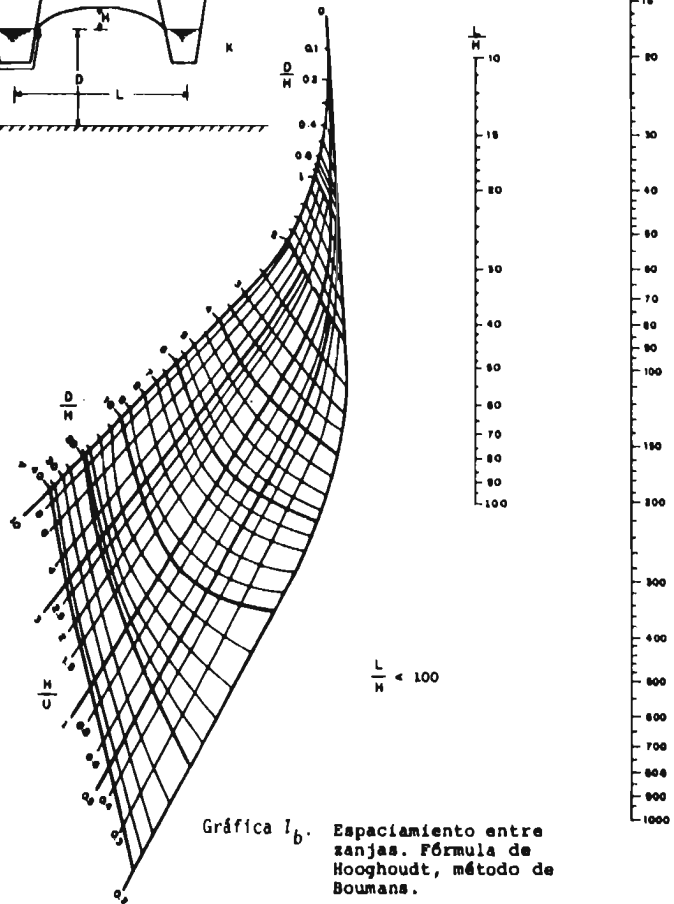
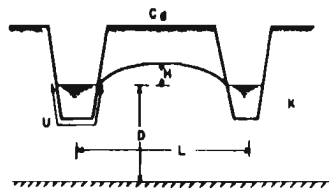


Forma de uso:

- 1) Escoger el valor de D/U y D.
- 2) Unir el valor de D/U situado a la izquierda del gráfico con D situado a la derecha.
- 3) Hallar el punto de corte de la línea del paso 2 con la recta del valor escogido de L.
- 4) Del punto de corte anterior, seguir diagonalmente hasta la escala derecha del gráfico donde se halla el valor De.

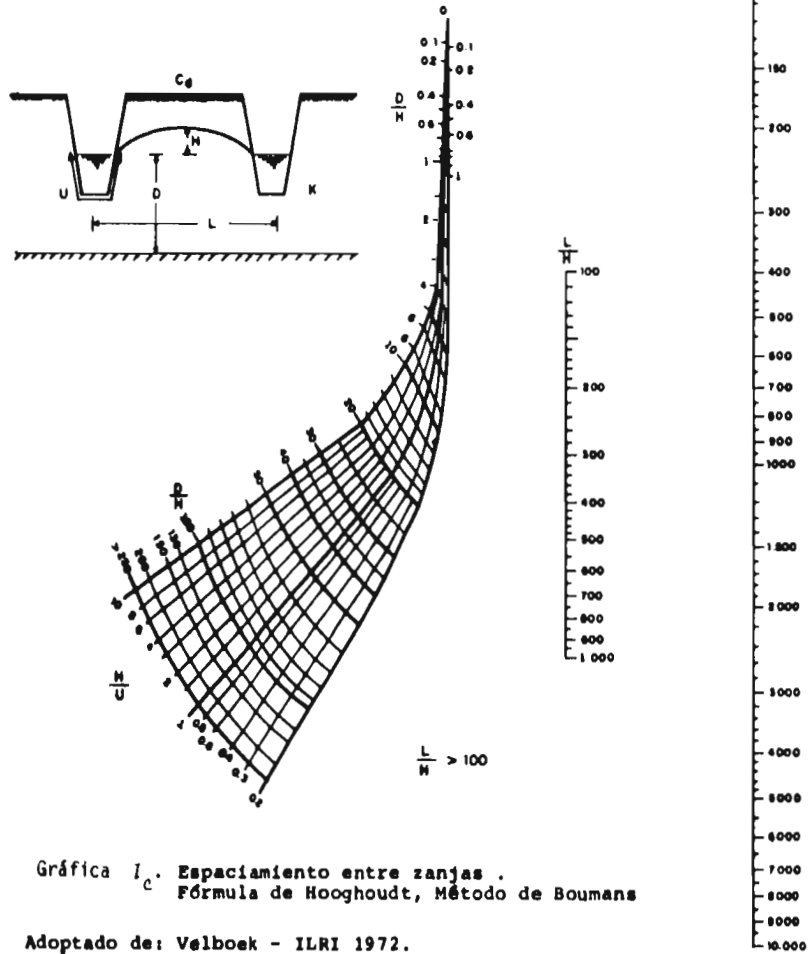
EJEMPLO:

Si  $D/U = 10$  y  $D = 6$  m  
con  $L = 50$  m, se lee a la derecha  
 $De = 3,6$



Gráfica  $I_b$ . Espaciamiento entre zanjas. Fórmula de Hooghoudt, método de Boumans.

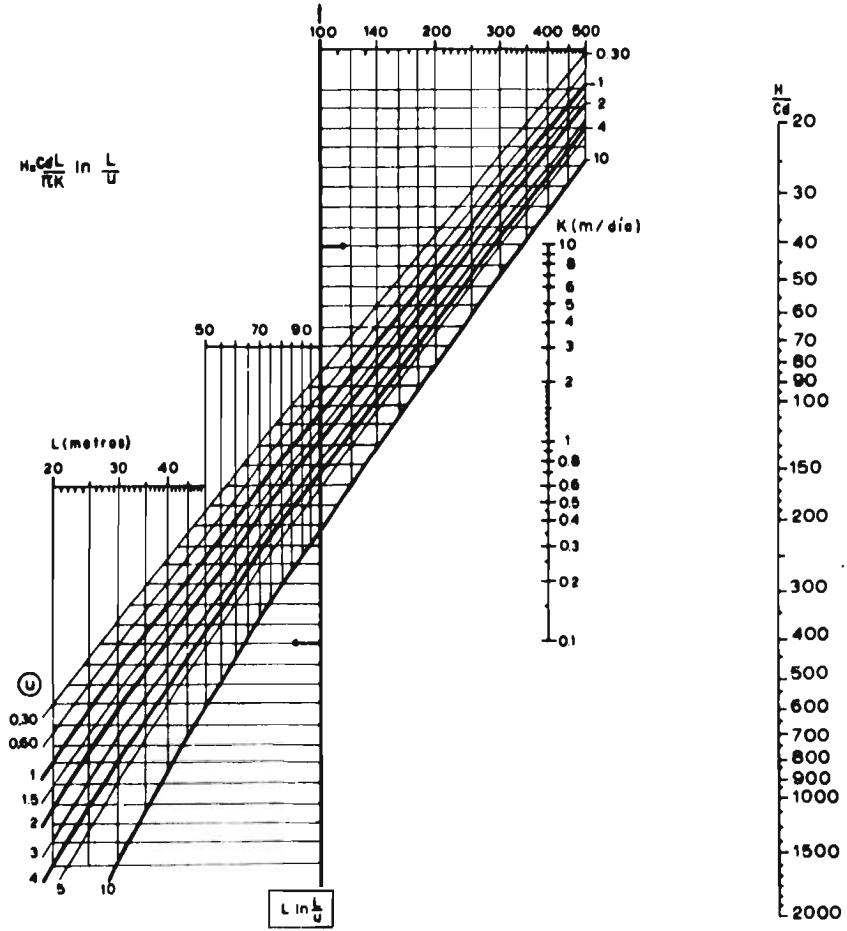
Adaptado de: Velboek - ILRI 1972.



Gráfica 1<sub>c</sub>. Espaciamiento entre zanjas .  
 Fórmula de Hooghoudt, Método de Boumans

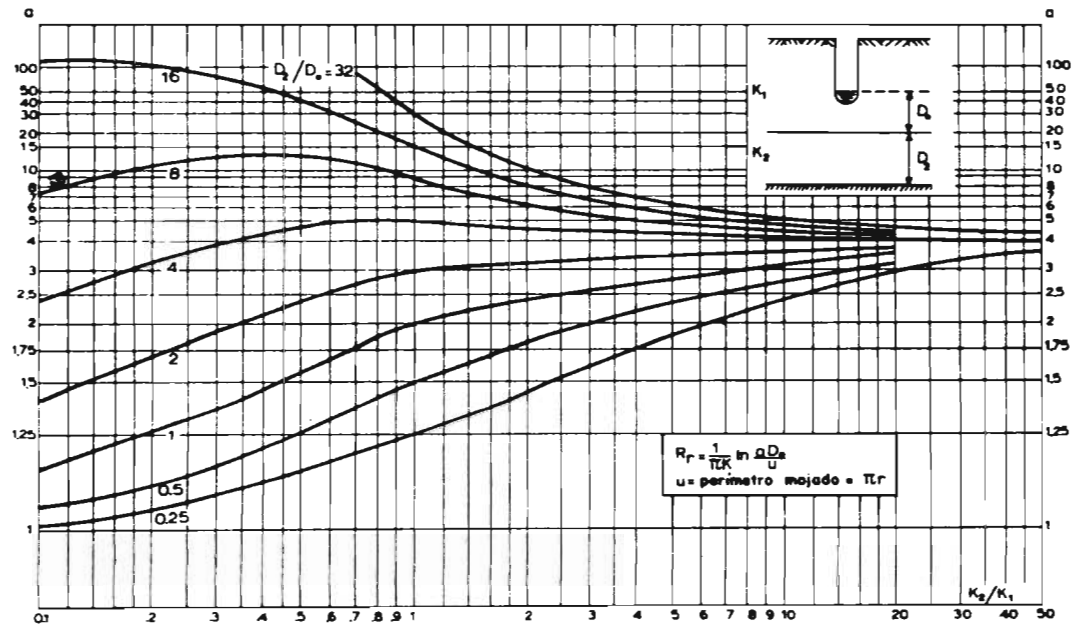
Adoptado de: Velboek - ILRI 1972.

GRAFICA III Capa Impermeable a Gran Profundidad (D>1/2L)  
(Fórmula de Ernst)

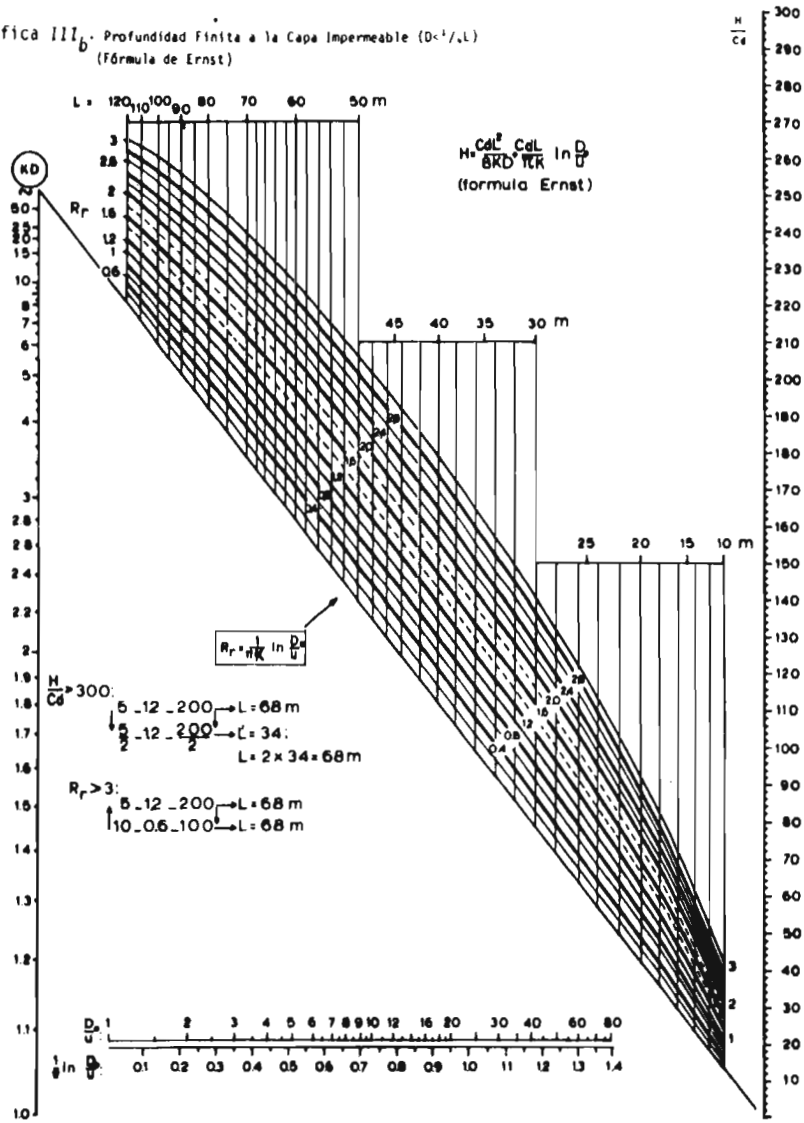


ADAPTADO DE: Bulletin no. 8 SOME NOMOGRAPHS FOR THE CALCULATION OF DRAINS SPACINGS  
International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands, 1963

Gráfica III a. Resistencia Radial ( $R_r$ ). Caso Suelo debajo de los drenes consiste de dos estratos diferentes (Fórmula Ernst)

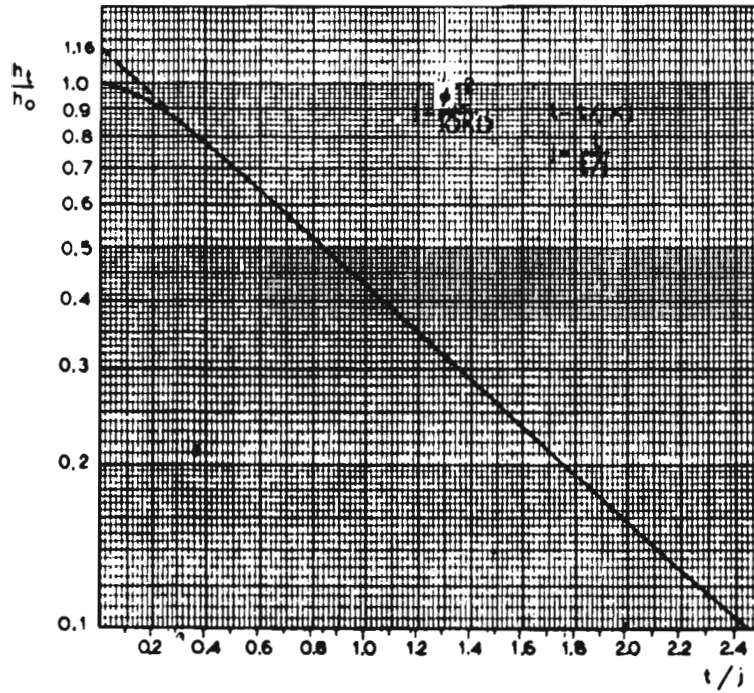


Gráfica III<sub>D</sub>. Profundidad Finita a la Capa Impermeable ( $D < 1/2 L$ )  
(Fórmula de Ernst)



ADAPTED BY: Bulletin no. 2. SOME NOMOGRAPHS FOR THE CALCULATION OF DRAIN SPACINGS  
International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands, 1961





ADAPTADO DE:  
Bulletin no. 8. SOME NOMOGRAPHS FOR THE CALCULATION OF DRAIN SPACINGS  
International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands, 1965

L	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50
1.0	0.71	0.75	0.78	0.80	0.82	0.83	0.85	0.86	0.87	0.88	0.88	0.89	0.90	0.90	0.91	0.91	0.91	0.92	0.92	0.92	0.93
1.2	0.77	0.82	0.86	0.90	0.92	0.94	0.96	0.98	0.99	1.01	1.02	1.03	1.04	1.04	1.05	1.06	1.06	1.07	1.08	1.08	1.08
1.4	0.82	0.88	0.94	0.98	1.01	1.04	1.07	1.09	1.11	1.13	1.14	1.15	1.17	1.18	1.19	1.20	1.21	1.21	1.22	1.23	1.23
1.6	0.86	0.93	0.99	1.04	1.09	1.13	1.16	1.19	1.21	1.23	1.25	1.27	1.28	1.30	1.31	1.32	1.34	1.35	1.36	1.36	1.37
1.8	0.88	0.97	1.04	1.10	1.15	1.20	1.24	1.27	1.30	1.33	1.35	1.37	1.39	1.41	1.43	1.44	1.46	1.47	1.48	1.49	1.50
2.0	0.90	1.00	1.08	1.15	1.21	1.26	1.30	1.34	1.38	1.41	1.44	1.47	1.49	1.51	1.53	1.55	1.57	1.58	1.60	1.61	1.63
2.2	0.92	1.02	1.11	1.19	1.25	1.31	1.36	1.41	1.45	1.49	1.52	1.55	1.58	1.61	1.63	1.65	1.67	1.69	1.71	1.72	1.74
2.4	0.93	1.04	1.14	1.22	1.29	1.36	1.42	1.47	1.51	1.56	1.60	1.63	1.66	1.69	1.72	1.74	1.77	1.79	1.81	1.83	1.85
2.6	0.93	1.05	1.16	1.25	1.33	1.40	1.46	1.52	1.57	1.62	1.66	1.70	1.74	1.77	1.80	1.83	1.86	1.88	1.90	1.93	1.95
2.8		1.06	1.17	1.27	1.36	1.43	1.50	1.56	1.62	1.67	1.72	1.76	1.80	1.84	1.88	1.91	1.94	1.97	1.99	2.02	2.04
3.0		1.07	1.19	1.29	1.38	1.46	1.54	1.60	1.67	1.72	1.77	1.82	1.87	1.91	1.94	1.98	2.01	2.04	2.07	2.10	2.13
3.2			1.20	1.30	1.40	1.49	1.57	1.64	1.71	1.77	1.82	1.87	1.92	1.97	2.01	2.05	2.08	2.12	2.15	2.18	2.21
3.4			1.20	1.32	1.42	1.51	1.59	1.67	1.74	1.81	1.87	1.92	1.97	2.02	2.07	2.11	2.15	2.19	2.22	2.25	2.29
3.6			1.21	1.33	1.43	1.53	1.62	1.70	1.77	1.84	1.90	1.96	2.02	2.07	2.12	2.17	2.21	2.25	2.29	2.32	2.36
3.8			1.33	1.44	1.54	1.64	1.72	1.80	1.87	1.94	2.00	2.06	2.12	2.17	2.22	2.26	2.31	2.35	2.39	2.42	2.46
4.0			1.34	1.45	1.56	1.65	1.74	1.82	1.90	1.97	2.04	2.10	2.16	2.21	2.27	2.32	2.36	2.41	2.45	2.49	2.53
4.2				1.46	1.57	1.67	1.76	1.85	1.93	2.00	2.07	2.14	2.20	2.26	2.31	2.36	2.41	2.46	2.50	2.55	2.59
4.4				1.47	1.58	1.68	1.78	1.87	1.95	2.03	2.10	2.17	2.23	2.30	2.35	2.41	2.46	2.51	2.56	2.60	2.65
4.6				1.47	1.59	1.69	1.79	1.88	1.97	2.05	2.13	2.20	2.27	2.33	2.39	2.45	2.50	2.56	2.60	2.65	2.70
4.8				1.59	1.70	1.80	1.90	1.99	2.07	2.15	2.23	2.30	2.36	2.43	2.49	2.54	2.60	2.65	2.70	2.75	2.80
5.0				1.71	1.81	1.91	2.00	2.09	2.17	2.25	2.32	2.39	2.46	2.52	2.58	2.64	2.69	2.75	2.80	2.85	2.90
5.2				1.72	1.82	1.92	2.02	2.11	2.19	2.27	2.35	2.42	2.49	2.56	2.62	2.68	2.73	2.79	2.84	2.89	2.94
5.4				1.72	1.83	1.94	2.03	2.12	2.21	2.29	2.37	2.45	2.52	2.59	2.65	2.71	2.77	2.83	2.88	2.93	2.98
5.6					1.73	1.84	1.94	2.04	2.14	2.23	2.31	2.39	2.47	2.54	2.61	2.68	2.74	2.81	2.86	2.91	2.96
5.8						1.84	1.95	2.05	2.15	2.24	2.33	2.41	2.49	2.57	2.64	2.71	2.78	2.84	2.90	2.95	3.00
6.0						1.85	1.96	2.06	2.16	2.26	2.35	2.43	2.51	2.59	2.66	2.74	2.80	2.87	2.93	2.98	3.03
6.2							1.97	2.07	2.17	2.27	2.36	2.45	2.53	2.61	2.69	2.76	2.83	2.90	2.96	3.01	3.06
6.4							1.97	2.08	2.18	2.28	2.37	2.46	2.55	2.63	2.71	2.78	2.86	2.93	2.99	3.04	3.09
6.6							1.98	2.08	2.19	2.29	2.38	2.48	2.56	2.65	2.73	2.80	2.88	2.95	3.02	3.07	3.12
6.8								2.09	2.20	2.30	2.40	2.49	2.58	2.66	2.75	2.83	2.90	2.97	3.04	3.10	3.15
7.0									2.20	2.31	2.41	2.50	2.59	2.68	2.76	2.84	2.92	3.00	3.07	3.13	3.18
7.2									2.21	2.31	2.41	2.51	2.60	2.69	2.78	2.86	2.94	3.02	3.09	3.15	3.20
7.4									2.21	2.32	2.42	2.52	2.61	2.71	2.79	2.88	2.96	3.04	3.11	3.17	3.22
7.6									2.22	2.33	2.43	2.53	2.62	2.72	2.81	2.89	2.98	3.06	3.13	3.19	3.24
7.8									2.33	2.44	2.54	2.63	2.73	2.82	2.91	2.99	3.07	3.15	3.21	3.27	3.32
8.0									2.33	2.44	2.54	2.64	2.74	2.83	2.92	3.01	3.09	3.17	3.23	3.29	3.34
8.2										2.45	2.55	2.65	2.75	2.84	2.93	3.02	3.10	3.18	3.24	3.30	3.35
8.4										2.45	2.56	2.66	2.76	2.85	2.94	3.03	3.12	3.20	3.26	3.32	3.37
8.6										2.46	2.56	2.66	2.76	2.86	2.95	3.04	3.13	3.22	3.28	3.34	3.39
8.8											2.57	2.67	2.77	2.87	2.96	3.05	3.14	3.23	3.29	3.35	3.40
9.0											2.57	2.68	2.78	2.88	2.97	3.06	3.15	3.24	3.30	3.36	3.41
9.2												2.68	2.78	2.88	2.98	3.07	3.17	3.25	3.31	3.37	3.42
9.4													2.68	2.79	2.89	2.99	3.08	3.18	3.27	3.33	3.38
9.6														2.69	2.79	2.90	3.00	3.09	3.18	3.28	3.34
9.8															2.80	2.90	3.00	3.10	3.19	3.29	3.35
10.0																2.80	2.91	3.01	3.11	3.20	3.29
-	0.95	1.09	1.23	1.36	1.49	1.62	1.75	1.88	2.00	2.12	2.25	2.37	2.49	2.60	2.72	2.84	2.95	3.07	3.18	3.30	3.41

TABLE I con  $\lambda_0 = 5 \text{ cm}$

L	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78	80	82	84	86	88	90	
D																						
1.0	0.93	0.93	0.93	0.93	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.96	0.96	0.96	0.96	
1.5	1.30	1.31	1.32	1.32	1.33	1.33	1.34	1.34	1.35	1.35	1.35	1.36	1.36	1.37	1.37	1.37	1.37	1.38	1.38	1.38	1.38	
2.0	1.63	1.64	1.65	1.66	1.67	1.68	1.69	1.70	1.70	1.71	1.72	1.72	1.73	1.74	1.74	1.75	1.75	1.76	1.76	1.77	1.77	
2.5	1.90	1.92	1.93	1.95	1.96	1.98	1.98	2.00	2.02	2.03	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.09	2.10	2.10	2.11	2.12	2.13	
3.0	2.13	2.15	2.18	2.20	2.22	2.24	2.26	2.27	2.28	2.31	2.32	2.34	2.35	2.37	2.38	2.39	2.40	2.41	2.43	2.44	2.45	
3.5	2.32	2.35	2.38	2.41	2.44	2.46	2.49	2.51	2.53	2.55	2.57	2.59	2.61	2.63	2.65	2.66	2.68	2.69	2.71	2.72	2.74	
4.0	2.49	2.52	2.56	2.59	2.63	2.66	2.69	2.71	2.74	2.77	2.79	2.82	2.84	2.86	2.88	2.90	2.92	2.94	2.96	2.98	3.00	
4.5	2.63	2.67	2.71	2.75	2.79	2.83	2.86	2.89	2.93	2.96	2.99	3.02	3.04	3.07	3.10	3.12	3.14	3.17	3.19	3.21	3.23	
5.0	2.75	2.79	2.84	2.89	2.93	2.97	3.01	3.05	3.09	3.12	3.16	3.19	3.22	3.26	3.28	3.31	3.34	3.37	3.39	3.42	3.44	
5.5	2.85	2.90	2.95	3.02	3.05	3.10	3.15	3.19	3.23	3.27	3.31	3.35	3.38	3.42	3.45	3.49	3.52	3.55	3.58	3.61	3.64	
6.0	2.93	2.99	3.05	3.11	3.16	3.21	3.26	3.31	3.36	3.40	3.45	3.49	3.53	3.57	3.61	3.64	3.68	3.71	3.75	3.78	3.81	
6.5	3.01	3.07	3.13	3.19	3.25	3.31	3.36	3.42	3.47	3.52	3.56	3.61	3.66	3.70	3.74	3.78	3.82	3.86	3.90	3.93	3.97	
7.0	3.07	3.14	3.21	3.27	3.33	3.39	3.45	3.51	3.57	3.62	3.67	3.72	3.77	3.82	3.86	3.91	3.95	3.99	4.03	4.07	4.11	
7.5	3.12	3.20	3.27	3.34	3.40	3.47	3.53	3.59	3.65	3.71	3.76	3.82	3.87	3.92	3.97	4.02	4.07	4.11	4.16	4.20	4.24	
8.0	3.17	3.25	3.32	3.39	3.47	3.53	3.60	3.67	3.73	3.79	3.85	3.91	3.96	4.02	4.07	4.12	4.17	4.22	4.27	4.32	4.36	
8.5	3.21	3.29	3.37	3.44	3.52	3.59	3.66	3.73	3.76	3.86	3.92	3.98	4.04	4.10	4.16	4.21	4.27	4.32	4.37	4.42	4.47	
9.0	3.24	3.33	3.41	3.49	3.57	3.64	3.72	3.79	3.86	3.92	3.99	4.05	4.12	4.18	4.24	4.30	4.35	4.41	4.46	4.51	4.57	
9.5	3.27	3.36	3.44	3.53	3.61	3.68	3.76	3.84	3.91	3.98	4.05	4.12	4.18	4.25	4.31	4.37	4.43	4.49	4.54	4.60	4.66	
10.0	3.29	3.39	3.47	3.56	3.64	3.72	3.80	3.88	3.96	4.03	4.10	4.17	4.24	4.31	4.37	4.44	4.50	4.56	4.62	4.68	4.74	
10.5	3.32	3.41	3.50	3.59	3.67	3.76	3.84	3.92	4.00	4.08	4.15	4.22	4.29	4.36	4.43	4.50	4.56	4.63	4.69	4.75	4.81	
11.0	3.33	3.43	3.52	3.61	3.70	3.79	3.87	3.96	4.04	4.11	4.19	4.27	4.34	4.41	4.48	4.55	4.62	4.69	4.75	4.82	4.88	
11.5	3.35	3.44	3.54	3.63	3.72	3.81	3.90	3.99	4.07	4.15	4.23	4.31	4.38	4.46	4.53	4.60	4.67	4.74	4.81	4.88	4.94	
12.0	3.36	3.46	3.56	3.65	3.75	3.84	3.93	4.01	4.10	4.18	4.26	4.34	4.42	4.50	4.57	4.65	4.72	4.79	4.86	4.93	5.00	
12.5	3.37	3.47	3.57	3.67	3.76	3.86	3.95	4.04	4.12	4.21	4.29	4.38	4.46	4.54	4.61	4.69	4.76	4.84	4.91	4.98	5.05	
13.0		3.48	3.58	3.68	3.78	3.87	3.97	4.06	4.15	4.23	4.32	4.41	4.49	4.57	4.65	4.73	4.80	4.88	4.95	5.03	5.10	
13.5			3.59	3.69	3.79	3.89	3.98	4.08	4.17	4.26	4.34	4.43	4.52	4.60	4.68	4.76	4.84	4.92	4.99	5.07	5.14	
14.0				3.70	3.80	3.90	4.00	4.09	4.18	4.28	4.37	4.45	4.54	4.63	4.71	4.79	4.87	4.95	5.03	5.10	5.18	
14.5					3.81	3.91	4.01	4.11	4.20	4.29	4.38	4.47	4.56	4.65	4.73	4.82	4.90	4.98	5.06	5.14	5.22	
15.0						3.92	4.02	4.12	4.21	4.31	4.40	4.49	4.58	4.67	4.76	4.84	4.93	5.01	5.09	5.17	5.25	
15.5							4.03	4.13	4.23	4.32	4.42	4.51	4.60	4.69	4.78	4.87	4.95	5.04	5.12	5.20	5.28	
16.0								4.14	4.24	4.33	4.43	4.52	4.62	4.71	4.80	4.89	4.97	5.06	5.14	5.23	5.31	
16.5									4.25	4.34	4.44	4.54	4.63	4.72	4.81	4.90	4.99	5.08	5.17	5.25	5.33	
17.0										4.35	4.45	4.56	4.64	4.74	4.83	4.92	5.01	5.10	5.19	5.27	5.36	
17.5											4.46	4.56	4.65	4.75	4.84	4.94	5.03	5.12	5.21	5.29	5.38	
18.0												4.57	4.66	4.76	4.85	4.95	5.04	5.13	5.22	5.31	5.40	
18.5													4.67	4.77	4.87	4.96	5.05	5.15	5.24	5.33	5.42	
19.0														4.78	4.87	4.97	5.07	5.16	5.25	5.34	5.43	
19.5															4.88	4.98	5.08	5.17	5.26	5.36	5.45	
20.0																4.99	5.08	5.18	5.27	5.37	5.46	
20.5																	5.09	5.19	5.28	5.38	5.47	
21.0																		5.20	5.29	5.39	5.48	
21.5																			5.30	5.40	5.49	
22.0																				5.41	5.50	
22.5																					5.51	
-	3.41	3.52	3.63	3.75	3.86	3.97	4.08	4.19	4.29	4.40	4.51	4.62	4.73	4.83	4.94	5.04	5.15	5.26	5.36	5.47	5.75	

TABLA I con  $\lambda_0 = 5 \text{ cm}$

L D	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
1.0	0.96	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98
2.0	1.79	1.81	1.83	1.84	1.85	1.86	1.87	1.87	1.88	1.89	1.89	1.90	1.90	1.91	1.91	1.91
3.0	2.49	2.53	2.57	2.59	2.62	2.62	2.66	2.68	2.70	2.71	2.72	2.74	2.75	2.76	2.77	2.78
4.0	3.07	3.14	3.20	3.25	3.29	3.33	3.37	3.40	3.43	3.46	3.48	3.50	3.52	3.54	3.56	3.57
5.0	3.56	3.65	3.74	3.81	3.88	3.94	3.99	4.04	4.08	4.12	4.16	4.19	4.23	4.25	4.28	4.31
6.0	3.96	4.09	4.20	4.30	4.39	4.47	4.54	4.61	4.67	4.73	4.78	4.82	4.87	4.91	4.95	4.98
7.0	4.29	4.45	4.59	4.72	4.83	4.93	5.03	5.11	5.19	5.26	5.33	5.39	5.45	5.50	5.55	5.60
8.0	4.57	4.76	4.93	5.08	5.22	5.34	5.46	5.56	5.66	5.75	5.83	5.91	5.98	6.05	6.11	6.17
9.0	4.81	5.02	5.22	5.40	5.56	5.70	5.84	5.96	6.08	6.19	6.28	6.38	6.46	6.54	6.62	6.69
10.0	5.01	5.25	5.47	5.67	5.85	6.02	6.18	6.32	6.45	6.58	6.69	6.80	6.90	7.00	7.09	7.17
11.0	5.17	5.44	5.68	5.91	6.11	6.30	6.48	6.64	6.79	6.93	7.06	7.19	7.30	7.41	7.52	7.61
12.0	5.31	5.60	5.87	6.11	6.34	6.55	6.74	6.92	7.09	7.25	7.40	7.54	7.67	7.79	7.91	8.02
13.0	5.44	5.75	6.03	6.30	6.54	6.77	6.98	7.18	7.37	7.54	7.70	7.86	8.00	8.14	8.27	8.39
14.0	5.54	5.87	6.17	6.46	6.72	6.96	7.19	7.41	7.61	7.80	7.98	8.15	8.31	8.46	8.60	8.74
15.0	5.63	5.97	6.30	6.60	6.88	7.14	7.38	7.62	7.83	8.04	8.23	8.41	8.59	8.75	8.91	9.06
16.0	5.70	6.05	6.40	6.72	7.02	7.29	7.56	7.80	8.03	8.25	8.46	8.66	8.84	9.02	9.19	9.35
17.0	5.76	6.14	6.50	6.83	7.14	7.43	7.71	7.97	8.22	8.45	8.67	8.88	9.08	9.27	9.45	9.62
18.0	5.82	6.21	6.58	6.92	7.25	7.56	7.85	8.12	8.38	8.63	8.86	9.08	9.30	9.50	9.69	9.88
19.0	5.86	6.27	6.65	7.01	7.35	7.67	7.97	8.26	8.53	8.79	9.04	9.27	9.50	9.71	9.92	10.11
20.0	5.90	6.32	6.71	7.08	7.44	7.77	8.08	8.38	8.67	8.94	9.20	9.44	9.68	9.91	10.12	10.33
21.0	5.94	6.36	6.77	7.15	7.51	7.86	8.18	8.50	8.79	9.07	9.34	9.60	9.85	10.09	10.31	10.53
22.0	5.96	6.40	6.82	7.21	7.58	7.94	8.28	8.60	8.91	9.20	9.48	9.75	10.01	10.25	10.49	10.72
23.0	5.99	6.43	6.86	7.26	7.64	8.01	8.36	8.69	9.01	9.31	9.60	9.88	10.15	10.41	10.65	10.89
24.0	6.01	6.46	6.89	7.31	7.70	8.07	8.43	8.78	9.10	9.42	9.72	10.01	10.28	10.55	10.81	11.05
25.0		6.48	6.93	7.35	7.75	8.13	8.50	8.85	9.19	9.51	9.82	10.12	10.41	10.68	10.95	11.20
26.0	6.02	6.50	6.95	7.38	7.79	8.19	8.56	8.92	9.27	9.60	9.92	10.23	10.52	10.81	11.08	11.34
27.0		6.52	6.98	7.41	7.83	8.23	8.62	8.98	9.34	9.68	10.01	10.32	10.63	10.92	11.20	11.48
28.0		6.53	7.00	7.44	7.87	8.27	8.67	9.04	9.40	9.75	10.09	10.41	10.73	11.03	11.32	11.60
29.0			7.01	7.46	7.90	8.31	8.71	9.10	9.46	9.82	10.16	10.50	10.82	11.13	11.42	11.71
30.0			7.03	7.49	7.92	8.35	8.75	9.14	9.52	9.88	10.23	10.57	10.90	11.22	11.52	11.82
31.0				7.50	7.95	8.38	8.79	9.19	9.57	9.94	10.30	10.64	10.98	11.30	11.62	11.92
32.0				7.52	7.97	8.40	8.82	9.23	9.62	9.99	10.36	10.71	11.05	11.38	11.70	12.01
33.0				7.53	7.99	8.43	8.85	9.26	9.66	10.04	10.41	10.77	11.12	11.46	11.78	12.10
34.0					8.00	8.45	8.88	9.29	9.70	10.09	10.46	10.83	11.18	11.53	11.86	12.18
35.0					8.02	8.47	8.90	9.32	9.73	10.13	10.51	10.88	11.24	11.59	11.93	12.26
36.0						8.48	8.92	9.35	9.76	10.16	10.55	10.93	11.30	11.65	12.00	12.33
37.0						8.50	8.94	9.37	9.79	10.20	10.59	10.97	11.35	11.71	12.06	12.40
38.0						8.51	8.96	9.39	9.82	10.23	10.63	11.02	11.39	11.76	12.12	12.46
39.0							8.97	9.41	9.84	10.26	10.66	11.05	11.44	11.81	12.17	12.52
40.0							8.99	9.43	9.86	10.28	10.69	11.09	11.48	11.85	12.22	12.58
41.0								9.45	9.88	10.31	10.72	11.12	11.51	11.89	12.27	12.63
42.0								9.46	9.90	10.33	10.75	11.15	11.55	11.93	12.31	12.68
43.0								9.47	9.92	10.35	10.77	11.18	11.58	11.97	12.35	12.72
44.0									9.93	10.37	10.79	11.21	11.61	12.00	12.39	12.77
45.0									9.94	10.38	10.81	11.23	11.64	12.04	12.43	12.81
46.0										10.40	10.83	11.25	11.66	12.07	12.46	12.84
47.0										10.41	10.85	11.27	11.69	12.09	12.49	12.88
48.0									10.42	10.86	11.29	11.71	12.12	12.52	12.91	
49.0										10.87	11.31	11.73	12.14	12.55	12.94	
50.0										10.89	11.32	11.75	12.16	12.57	12.97	
$\lambda$	6.09	6.60	7.10	7.60	8.10	8.59	9.08	9.56	10.04	10.52	10.99	11.47	11.93	12.40	12.86	13.33

TABLE I con  $\lambda_0 = 5 \text{ cm}$

L	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50
1.0	0.76	0.80	0.82	0.84	0.86	0.87	0.88	0.89	0.90	0.90	0.91	0.92	0.92	0.92	0.93	0.93	0.93	0.94	0.94	0.94	0.94
1.2	0.84	0.89	0.92	0.95	0.97	0.99	1.01	1.02	1.04	1.05	1.06	1.07	1.08	1.08	1.09	1.09	1.10	1.10	1.11	1.11	1.11
1.4	0.90	0.96	1.00	1.04	1.07	1.10	1.12	1.14	1.16	1.17	1.19	1.20	1.21	1.22	1.23	1.24	1.24	1.25	1.25	1.26	1.27
1.6	0.94	1.01	1.07	1.12	1.16	1.19	1.22	1.25	1.27	1.29	1.31	1.32	1.35	1.35	1.36	1.37	1.38	1.39	1.40	1.41	1.41
1.8	0.97	1.06	1.13	1.19	1.23	1.28	1.31	1.34	1.37	1.40	1.42	1.44	1.45	1.47	1.49	1.50	1.51	1.52	1.53	1.54	1.55
2.0	1.00	1.09	1.17	1.24	1.30	1.35	1.39	1.43	1.46	1.49	1.52	1.54	1.56	1.58	1.60	1.62	1.63	1.65	1.66	1.67	1.68
2.2	1.01	1.12	1.21	1.29	1.35	1.41	1.46	1.50	1.54	1.58	1.61	1.63	1.66	1.68	1.71	1.73	1.74	1.76	1.78	1.79	1.80
2.4	1.03	1.14	1.24	1.32	1.40	1.46	1.52	1.57	1.61	1.65	1.69	1.72	1.75	1.78	1.80	1.83	1.85	1.87	1.89	1.90	1.92
2.6	1.03	1.16	1.26	1.36	1.44	1.51	1.57	1.63	1.68	1.72	1.76	1.80	1.83	1.86	1.89	1.92	1.94	1.97	1.99	2.01	2.03
2.8		1.17	1.28	1.38	1.47	1.55	1.62	1.68	1.73	1.78	1.83	1.87	1.91	1.94	1.98	2.01	2.03	2.06	2.09	2.11	2.13
3.0		1.18	1.30	1.41	1.50	1.58	1.66	1.72	1.78	1.84	1.89	1.94	1.98	2.02	2.05	2.09	2.12	2.15	2.18	2.20	2.23
3.2			1.31	1.42	1.52	1.61	1.69	1.76	1.83	1.89	1.94	1.99	2.04	2.08	2.12	2.16	2.20	2.23	2.26	2.29	2.31
3.4			1.32	1.44	1.54	1.64	1.72	1.80	1.87	1.93	1.99	2.05	2.10	2.15	2.19	2.23	2.27	2.30	2.34	2.37	2.40
3.6			1.33	1.45	1.56	1.66	1.75	1.83	1.91	1.97	2.04	2.10	2.15	2.20	2.25	2.29	2.34	2.37	2.41	2.45	2.48
3.8				1.46	1.57	1.68	1.77	1.86	1.94	2.01	2.08	2.14	2.20	2.25	2.31	2.35	2.40	2.44	2.48	2.52	2.55
4.0				1.47	1.59	1.69	1.79	1.88	1.97	2.04	2.12	2.18	2.24	2.30	2.36	2.41	2.46	2.50	2.54	2.58	2.62
4.2					1.60	1.71	1.81	1.90	1.99	2.07	2.15	2.22	2.29	2.35	2.40	2.46	2.51	2.56	2.60	2.65	2.69
4.4					1.60	1.72	1.83	1.92	2.02	2.10	2.18	2.25	2.32	2.39	2.45	2.51	2.56	2.61	2.66	2.70	2.75
4.6					1.61	1.73	1.84	1.94	2.04	2.12	2.21	2.28	2.36	2.42	2.49	2.55	2.61	2.66	2.71	2.76	2.81
4.8					1.74	1.85	1.96	2.05	2.15	2.23	2.31	2.39	2.46	2.53	2.59	2.65	2.71	2.76	2.81	2.86	2.91
5.0					1.86	1.97	2.07	2.16	2.25	2.34	2.42	2.49	2.56	2.63	2.69	2.75	2.81	2.86	2.91	2.96	3.00
5.2					1.87	1.98	2.08	2.18	2.27	2.36	2.44	2.52	2.59	2.66	2.73	2.79	2.85	2.90	2.96	3.00	3.04
5.4					1.87	1.99	2.10	2.20	2.29	2.38	2.47	2.55	2.62	2.69	2.76	2.83	2.89	2.95	3.00	3.04	3.08
5.6					1.88	2.00	2.11	2.21	2.31	2.40	2.49	2.57	2.65	2.72	2.79	2.86	2.92	2.99	3.04	3.08	3.12
5.8						2.00	2.12	2.22	2.32	2.42	2.51	2.59	2.67	2.75	2.82	2.89	2.96	3.02	3.08	3.12	3.16
6.0						2.01	2.12	2.23	2.34	2.43	2.53	2.61	2.70	2.78	2.85	2.92	2.99	3.06	3.12	3.16	3.20
6.2							2.13	2.24	2.35	2.45	2.54	2.63	2.72	2.80	2.88	2.95	3.02	3.09	3.16	3.22	3.26
6.4							2.14	2.25	2.36	2.46	2.56	2.65	2.74	2.82	2.90	2.98	3.05	3.12	3.19	3.26	3.30
6.6							2.14	2.26	2.37	2.47	2.57	2.67	2.76	2.84	2.92	3.00	3.08	3.15	3.22	3.28	3.32
6.8							2.26	2.38	2.48	2.58	2.68	2.77	2.86	2.94	3.03	3.10	3.18	3.25	3.32	3.38	3.42
7.0								2.27	2.38	2.49	2.59	2.69	2.79	2.88	2.96	3.05	3.13	3.20	3.28	3.34	3.38
7.2									2.39	2.50	2.60	2.71	2.80	2.89	2.98	3.07	3.15	3.23	3.30	3.36	3.40
7.4									2.40	2.51	2.61	2.72	2.81	2.91	3.00	3.09	3.17	3.25	3.33	3.39	3.43
7.6									2.40	2.51	2.62	2.73	2.83	2.92	3.01	3.10	3.19	3.27	3.35	3.41	3.45
7.8										2.52	2.63	2.74	2.84	2.93	3.03	3.12	3.21	3.29	3.37	3.43	3.47
8.0										2.53	2.64	2.74	2.85	2.95	3.04	3.13	3.22	3.31	3.39	3.45	3.49
8.2											2.64	2.75	2.86	2.96	3.05	3.15	3.24	3.33	3.41	3.47	3.51
8.4											2.65	2.76	2.86	2.97	3.07	3.16	3.25	3.34	3.43	3.49	3.53
8.6											2.65	2.76	2.87	2.98	3.08	3.17	3.27	3.36	3.44	3.50	3.54
8.8											2.77	2.88	2.98	3.09	3.18	3.28	3.37	3.46	3.52	3.56	3.60
9.0											2.77	2.89	2.99	3.10	3.19	3.29	3.38	3.47	3.53	3.57	3.61
9.2											2.89	3.00	3.10	3.20	3.30	3.40	3.49	3.55	3.59	3.63	3.67
9.4											2.90	3.01	3.11	3.21	3.31	3.41	3.50	3.56	3.60	3.64	3.68
9.6											2.90	3.01	3.12	3.22	3.32	3.42	3.51	3.57	3.61	3.65	3.69
9.8												3.02	3.12	3.23	3.33	3.43	3.52	3.58	3.62	3.66	3.70
10.0												3.02	3.13	3.24	3.34	3.44	3.54	3.60	3.64	3.68	3.72
-	1.05	1.20	1.35	1.49	1.63	1.77	1.91	2.04	2.17	2.30	2.43	2.56	2.69	2.81	2.94	3.06	3.19	3.31	3.43	3.55	3.67

TABLA II con  $\lambda_0 = 7,5 \text{ cm}$

L D	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78	80	82	84	86	88	90
1.0	0.94	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97
1.5	1.34	1.35	1.35	1.36	1.36	1.36	1.37	1.37	1.38	1.38	1.38	1.39	1.39	1.39	1.39	1.40	1.40	1.40	1.40	1.41	1.41
2.0	1.68	1.69	1.70	1.71	1.72	1.73	1.74	1.74	1.75	1.76	1.76	1.77	1.77	1.78	1.78	1.79	1.80	1.80	1.80	1.81	1.81
2.5	1.97	1.99	2.01	2.02	2.03	2.06	2.06	2.07	2.08	2.09	2.10	2.11	2.12	2.13	2.14	2.15	2.16	2.17	2.17	2.18	2.18
3.0	2.23	2.25	2.27	2.29	2.31	2.33	2.34	2.36	2.38	2.39	2.41	2.42	2.43	2.44	2.46	2.47	2.48	2.49	2.50	2.51	2.52
3.5	2.44	2.47	2.50	2.52	2.55	2.57	2.59	2.62	2.64	2.66	2.67	2.69	2.71	2.73	2.74	2.76	2.77	2.79	2.80	2.81	2.82
4.0	2.62	2.66	2.69	2.72	2.75	2.78	2.81	2.84	2.86	2.89	2.91	2.94	2.96	2.98	3.00	3.02	3.04	3.05	3.07	3.09	3.10
4.5	2.78	2.82	2.86	2.90	2.94	2.97	3.00	3.04	3.07	3.10	3.13	3.15	3.18	3.20	3.23	3.25	3.27	3.30	3.32	3.34	3.36
5.0	2.91	2.96	3.01	3.05	3.09	3.13	3.17	3.21	3.25	3.28	3.31	3.35	3.38	3.41	3.43	3.46	3.49	3.51	3.54	3.56	3.59
5.5	3.02	3.08	3.13	3.18	3.23	3.28	3.32	3.36	3.40	3.44	3.48	3.52	3.55	3.59	3.62	3.65	3.68	3.71	3.74	3.77	3.80
6.0	3.12	3.18	3.24	3.30	3.35	3.40	3.45	3.50	3.54	3.59	3.63	3.67	3.71	3.75	3.79	3.82	3.86	3.89	3.92	3.95	3.99
6.5	3.20	3.27	3.33	3.39	3.45	3.51	3.56	3.62	3.67	3.72	3.76	3.81	3.85	3.89	3.94	3.98	4.01	4.05	4.09	4.12	4.16
7.0	3.28	3.35	3.42	3.48	3.54	3.61	3.66	3.72	3.78	3.83	3.88	3.93	3.98	4.03	4.07	4.11	4.16	4.20	4.24	4.28	4.32
7.5	3.34	3.41	3.49	3.56	3.62	3.69	3.75	3.81	3.87	3.93	3.99	4.04	4.09	4.14	4.19	4.24	4.29	4.33	4.38	4.42	4.46
8.0	3.39	3.47	3.55	3.62	3.69	3.76	3.83	3.90	3.96	4.02	4.08	4.14	4.19	4.25	4.30	4.35	4.40	4.45	4.50	4.55	4.59
8.5	3.44	3.52	3.60	3.68	3.75	3.83	3.90	3.97	4.04	4.10	4.16	4.23	4.29	4.34	4.40	4.45	4.51	4.56	4.61	4.66	4.71
9.0	3.47	3.56	3.65	3.73	3.81	3.89	3.96	4.03	4.10	4.17	4.24	4.30	4.37	4.43	4.49	4.55	4.60	4.66	4.71	4.77	4.82
9.5	3.51	3.60	3.69	3.77	3.85	3.94	4.01	4.09	4.16	4.24	4.31	4.37	4.44	4.51	4.57	4.63	4.69	4.75	4.81	4.86	4.92
10.0	3.54	3.63	3.72	3.81	3.90	3.98	4.06	4.14	4.22	4.29	4.37	4.44	4.51	4.58	4.64	4.71	4.77	4.83	4.89	4.95	5.01
10.5	3.56	3.66	3.75	3.84	3.93	4.02	4.10	4.19	4.27	4.34	4.42	4.49	4.57	4.64	4.71	4.78	4.84	4.91	4.97	5.03	5.09
11.0	3.58	3.68	3.78	3.87	3.96	4.05	4.14	4.22	4.31	4.39	4.47	4.55	4.62	4.70	4.77	4.84	4.91	4.97	5.04	5.10	5.17
11.5	3.60	3.70	3.80	3.89	3.99	4.08	4.17	4.26	4.35	4.43	4.51	4.59	4.67	4.75	4.82	4.89	4.97	5.04	5.10	5.17	5.24
12.0	3.61	3.71	3.82	3.92	4.01	4.11	4.20	4.29	4.38	4.47	4.55	4.63	4.71	4.79	4.87	4.95	5.02	5.09	5.16	5.23	5.30
12.5	3.62	3.73	3.83	3.93	4.03	4.13	4.22	4.32	4.41	4.50	4.58	4.67	4.75	4.83	4.91	4.99	5.07	5.14	5.22	5.29	5.36
13.0		3.74	3.84	3.95	4.05	4.15	4.25	4.34	4.43	4.53	4.61	4.70	4.79	4.87	4.95	5.03	5.11	5.19	5.27	5.34	5.41
13.5			3.86	3.96	4.07	4.17	4.27	4.36	4.46	4.55	4.64	4.73	4.82	4.91	4.99	5.07	5.15	5.23	5.31	5.39	5.46
14.0				3.97	4.08	4.18	4.28	4.38	4.48	4.57	4.67	4.76	4.85	4.94	5.02	5.11	5.19	5.27	5.35	5.43	5.51
14.5					4.09	4.19	4.30	4.40	4.50	4.59	4.69	4.78	4.87	4.96	5.05	5.14	5.22	5.31	5.39	5.47	5.55
15.0						4.20	4.31	4.41	4.51	4.61	4.71	4.80	4.90	4.99	5.08	5.17	5.25	5.34	5.42	5.51	5.59
15.5							4.32	4.42	4.52	4.63	4.72	4.82	4.92	5.01	5.10	5.19	5.28	5.37	5.45	5.54	5.62
16.0								4.43	4.54	4.64	4.74	4.84	4.93	5.03	5.12	5.22	5.31	5.39	5.48	5.57	5.65
16.5									4.55	4.65	4.75	4.85	4.95	5.05	5.14	5.24	5.33	5.42	5.51	5.60	5.68
17.0										4.66	4.76	4.86	4.96	5.06	5.16	5.25	5.35	5.44	5.53	5.62	5.71
17.5											4.77	4.88	4.98	5.08	5.17	5.27	5.37	5.46	5.55	5.64	5.73
18.0												4.89	4.99	5.09	5.19	5.29	5.38	5.48	5.57	5.66	5.75
18.5													5.00	5.10	5.20	5.30	5.40	5.49	5.59	5.68	5.77
19.0														5.11	5.21	5.31	5.41	5.51	5.60	5.70	5.79
19.5															5.22	5.32	5.42	5.52	5.62	5.71	5.81
20.0																5.33	5.43	5.53	5.63	5.73	5.82
20.5																	5.44	5.54	5.64	5.74	5.84
21.0																		5.56	5.65	5.75	5.85
21.5																			5.66	5.76	5.86
22.0																				5.77	5.87
22.5																					5.88
-	3.67	3.79	3.91	4.02	4.14	4.26	4.37	4.49	4.60	4.72	4.83	4.95	5.06	5.17	5.28	5.40	5.51	5.62	5.73	5.84	5.95

TABELA II con  $\lambda_0 = 7,5$  cm

L D	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
1.0	0.97	0.97	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
2.0	1.03	1.04	1.06	1.07	1.07	1.08	1.09	1.10	1.11	1.12	1.13	1.14	1.15	1.16	1.17	1.18
3.0	2.56	2.59	2.62	2.65	2.67	2.69	2.71	2.72	2.74	2.75	2.76	2.77	2.78	2.79	2.80	2.81
4.0	3.17	3.24	3.29	3.34	3.38	3.41	3.44	3.47	3.50	3.52	3.54	3.56	3.58	3.60	3.61	3.63
5.0	3.69	3.78	3.86	3.93	3.99	4.05	4.10	4.14	4.18	4.22	4.25	4.28	4.31	4.34	4.36	4.38
6.0	4.13	4.25	4.36	4.45	4.54	4.61	4.68	4.74	4.80	4.85	4.90	4.94	4.98	5.02	5.05	5.09
7.0	4.49	4.64	4.78	4.90	5.01	5.11	5.20	5.28	5.35	5.42	5.48	5.54	5.59	5.64	5.69	5.73
8.0	4.80	4.98	5.15	5.29	5.43	5.55	5.66	5.76	5.85	5.93	6.01	6.09	6.15	6.22	6.27	6.33
9.0	5.06	5.27	5.46	5.64	5.79	5.94	6.07	6.19	6.30	6.40	6.49	6.58	6.67	6.74	6.81	6.88
10.0	5.28	5.52	5.74	5.94	6.12	6.28	6.43	6.57	6.70	6.82	6.93	7.04	7.13	7.22	7.31	7.39
11.0	5.46	5.73	5.98	6.20	6.40	6.59	6.76	6.92	7.07	7.20	7.33	7.45	7.56	7.67	7.77	7.86
12.0	5.62	5.92	6.18	6.43	6.65	6.86	7.05	7.23	7.39	7.55	7.69	7.83	7.95	8.07	8.19	8.29
13.0	5.76	6.07	6.36	6.63	6.87	7.10	7.31	7.51	7.69	7.86	8.02	8.17	8.31	8.45	8.58	8.70
14.0	5.87	6.21	6.52	6.80	7.07	7.32	7.54	7.76	7.96	8.15	8.32	8.49	8.65	8.79	8.93	9.07
15.0	5.97	6.33	6.66	6.96	7.24	7.51	7.75	7.98	8.20	8.41	8.60	8.78	8.95	9.11	9.26	9.41
16.0	6.06	6.43	6.78	7.10	7.40	7.68	7.94	8.19	8.42	8.64	8.85	9.04	9.23	9.40	9.57	9.73
17.0	6.13	6.52	6.88	7.22	7.54	7.83	8.11	8.37	8.62	8.86	9.08	9.29	9.48	9.67	9.85	10.02
18.0	6.19	6.59	6.97	7.33	7.66	7.97	8.27	8.54	8.80	9.05	9.29	9.51	9.72	9.92	10.11	10.30
19.0	6.24	6.66	7.05	7.42	7.77	8.10	8.40	8.69	8.97	9.23	9.48	9.72	9.94	10.15	10.36	10.55
20.0	6.29	6.72	7.12	7.51	7.87	8.21	8.53	8.83	9.12	9.40	9.66	9.90	10.14	10.37	10.58	10.79
21.0	6.32	6.77	7.19	7.58	7.95	8.31	8.64	8.96	9.26	9.55	9.82	10.08	10.33	10.56	10.79	11.01
22.0	6.35	6.81	7.24	7.65	8.03	8.40	8.74	9.07	9.38	9.68	9.97	10.24	10.50	10.75	10.99	11.21
23.0	6.38	6.85	7.29	7.71	8.10	8.48	8.83	9.17	9.50	9.81	10.10	10.39	10.66	10.92	11.17	11.40
24.0	6.41	6.88	7.33	7.76	8.16	8.55	8.92	9.27	9.60	9.92	10.23	10.52	10.80	11.07	11.33	11.58
25.0	6.42	6.91	7.37	7.80	8.22	8.62	8.99	9.35	9.70	10.03	10.35	10.65	10.94	11.22	11.49	11.75
26.0		6.93	7.40	7.84	8.27	8.67	9.06	9.43	9.79	10.13	10.45	10.77	11.07	11.36	11.63	11.90
27.0		6.95	7.42	7.88	8.31	8.73	9.12	9.50	9.87	10.22	10.55	10.87	11.18	11.48	11.77	12.05
28.0		6.96	7.45	7.91	8.35	8.77	9.18	9.57	9.94	10.30	10.64	10.97	11.29	11.60	11.90	12.18
29.0			7.47	7.94	8.39	8.82	9.23	9.63	10.01	10.37	10.73	11.07	11.39	11.71	12.01	12.31
30.0			7.48	7.96	8.42	8.85	9.28	9.68	10.07	10.44	10.81	11.15	11.49	11.81	12.12	12.43
31.0				7.98	8.44	8.89	9.32	9.72	10.13	10.51	10.88	11.23	11.58	11.91	12.23	12.54
32.0				8.00	8.47	8.92	9.35	9.77	10.18	10.57	10.94	11.31	11.66	12.00	12.32	12.64
33.0				8.01	8.49	8.95	9.39	9.81	10.22	10.62	11.00	11.37	11.73	12.08	12.41	12.74
34.0					8.50	8.97	9.42	9.85	10.27	10.67	11.06	11.44	11.80	12.16	12.50	12.83
35.0					8.52	8.99	9.44	9.86	10.31	10.72	11.11	11.50	11.87	12.23	12.58	12.91
36.0						9.01	9.47	9.91	10.34	10.76	11.16	11.55	11.93	12.29	12.65	12.99
37.0						9.03	9.49	9.94	10.37	10.80	11.20	11.60	11.98	12.36	12.72	13.07
38.0						9.04	9.51	9.96	10.40	10.83	11.24	11.65	12.04	12.41	12.78	13.14
39.0							9.53	9.98	10.43	10.86	11.28	11.69	12.08	12.47	12.84	13.20
40.0							9.54	10.00	10.45	10.89	11.32	11.73	12.13	12.52	12.90	13.27
41.0								10.02	10.48	10.92	11.35	11.77	12.17	12.57	12.95	13.32
42.0								10.04	10.50	10.94	11.38	11.80	12.21	12.61	13.00	13.38
43.0								10.05	10.51	10.97	11.40	11.83	12.25	12.65	13.04	13.43
44.0									10.53	10.99	11.43	11.86	12.28	12.69	13.09	13.48
45.0									10.54	11.00	11.45	11.89	12.31	12.72	13.13	13.52
46.0										11.02	11.47	11.91	12.34	12.76	13.16	13.56
47.0										11.03	11.49	11.93	12.37	12.79	13.20	13.60
48.0										11.05	11.51	11.95	12.39	12.82	13.23	13.64
49.0											11.52	11.97	12.41	12.84	13.26	13.67
50.0											11.53	11.99	12.43	12.87	13.29	13.70
	6.50	7.03	7.57	8.09	8.61	9.13	9.64	10.15	10.66	11.16	11.66	12.15	12.64	13.13	13.62	14.10

TABLE II con  $\lambda_0 = 7.5$  cm

L	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50
1.0	0.81	0.84	0.86	0.88	0.89	0.90	0.91	0.91	0.92	0.93	0.93	0.94	0.94	0.94	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.96	0.96
1.2	0.89	0.94	0.97	0.99	1.01	1.03	1.04	1.06	1.07	1.08	1.08	1.09	1.10	1.10	1.11	1.11	1.11	1.12	1.12	1.12	1.13
1.4	0.96	1.02	1.06	1.09	1.12	1.15	1.17	1.18	1.20	1.21	1.22	1.23	1.24	1.25	1.26	1.27	1.28	1.28	1.28	1.28	1.29
1.6	1.01	1.08	1.14	1.18	1.22	1.25	1.28	1.30	1.32	1.34	1.35	1.36	1.38	1.39	1.40	1.41	1.42	1.42	1.43	1.44	1.44
1.8	1.05	1.13	1.20	1.25	1.30	1.34	1.37	1.40	1.43	1.45	1.47	1.49	1.50	1.52	1.53	1.54	1.55	1.56	1.57	1.58	1.59
2.0	1.07	1.17	1.25	1.32	1.37	1.42	1.46	1.49	1.52	1.55	1.57	1.60	1.62	1.63	1.65	1.67	1.68	1.69	1.70	1.71	1.72
2.2	1.09	1.20	1.29	1.37	1.43	1.48	1.53	1.57	1.61	1.64	1.67	1.70	1.72	1.74	1.76	1.78	1.80	1.81	1.83	1.84	1.85
2.4	1.11	1.23	1.33	1.41	1.48	1.54	1.60	1.65	1.69	1.73	1.76	1.79	1.82	1.84	1.87	1.89	1.91	1.93	1.94	1.96	1.98
2.6	1.12	1.25	1.35	1.45	1.53	1.60	1.66	1.71	1.76	1.80	1.84	1.88	1.91	1.94	1.97	1.99	2.01	2.03	2.05	2.07	2.09
2.8		1.26	1.38	1.48	1.56	1.64	1.71	1.77	1.82	1.87	1.91	1.95	1.99	2.02	2.05	2.08	2.11	2.13	2.16	2.18	2.20
3.0		1.27	1.39	1.50	1.60	1.68	1.75	1.82	1.88	1.93	1.98	2.02	2.07	2.10	2.14	2.17	2.20	2.23	2.25	2.28	2.30
3.2			1.41	1.52	1.62	1.71	1.79	1.86	1.93	1.99	2.04	2.09	2.13	2.18	2.21	2.25	2.28	2.31	2.34	2.37	2.40
3.4			1.42	1.54	1.65	1.74	1.83	1.90	1.97	2.04	2.10	2.15	2.20	2.24	2.29	2.33	2.36	2.40	2.43	2.46	2.49
3.6			1.43	1.55	1.67	1.77	1.86	1.94	2.01	2.08	2.15	2.20	2.26	2.31	2.35	2.39	2.43	2.47	2.51	2.54	2.57
3.8				1.56	1.68	1.79	1.88	1.97	2.05	2.12	2.19	2.25	2.31	2.36	2.41	2.46	2.50	2.54	2.58	2.62	2.65
4.0				1.57	1.69	1.81	1.91	2.00	2.08	2.16	2.23	2.30	2.36	2.42	2.47	2.52	2.57	2.61	2.65	2.69	2.73
4.2					1.71	1.82	1.93	2.02	2.11	2.19	2.27	2.34	2.40	2.46	2.52	2.57	2.62	2.67	2.72	2.76	2.80
4.4					1.71	1.83	1.94	2.04	2.14	2.22	2.30	2.38	2.44	2.51	2.57	2.63	2.68	2.73	2.78	2.82	2.86
4.6					1.74	1.85	1.96	2.06	2.16	2.25	2.33	2.41	2.48	2.55	2.61	2.67	2.73	2.78	2.83	2.88	2.93
4.8					1.85	1.97	2.08	2.18	2.27	2.36	2.44	2.52	2.59	2.65	2.72	2.78	2.83	2.89	2.94	2.99	3.04
5.0					1.86	1.98	2.09	2.20	2.29	2.39	2.47	2.55	2.62	2.69	2.76	2.82	2.88	2.94	2.99	3.04	
5.2						1.99	2.11	2.21	2.31	2.41	2.49	2.58	2.65	2.73	2.80	2.86	2.92	2.98	3.04	3.09	
5.4						2.00	2.12	2.23	2.33	2.43	2.52	2.60	2.68	2.76	2.83	2.90	2.97	3.03	3.09	3.14	
5.6							2.01	2.13	2.24	2.35	2.45	2.54	2.63	2.71	2.79	2.87	2.94	3.00	3.07	3.13	3.19
5.8								2.13	2.25	2.36	2.46	2.56	2.65	2.74	2.82	2.90	2.97	3.04	3.11	3.17	3.23
6.0								2.14	2.26	2.37	2.48	2.58	2.67	2.76	2.84	2.92	3.00	3.07	3.14	3.21	3.27
6.2									2.27	2.38	2.49	2.59	2.69	2.78	2.87	2.95	3.03	3.10	3.18	3.24	3.31
6.4									2.28	2.39	2.50	2.61	2.71	2.80	2.89	2.97	3.06	3.13	3.21	3.28	3.35
6.6									2.28	2.40	2.51	2.62	2.72	2.82	2.91	3.00	3.08	3.16	3.24	3.31	3.38
6.8										2.41	2.52	2.63	2.74	2.83	2.93	3.02	3.10	3.19	3.26	3.34	3.41
7.0										2.41	2.53	2.64	2.75	2.85	2.95	3.04	3.13	3.21	3.29	3.37	3.44
7.2											2.54	2.65	2.76	2.86	2.96	3.06	3.15	3.23	3.31	3.39	3.47
7.4											2.54	2.66	2.77	2.88	2.98	3.07	3.16	3.25	3.34	3.42	3.50
7.6												2.67	2.78	2.89	2.99	3.09	3.18	3.27	3.36	3.44	3.52
7.8												2.67	2.79	2.90	3.00	3.10	3.20	3.29	3.38	3.46	3.55
8.0												2.68	2.80	2.91	3.01	3.11	3.21	3.31	3.40	3.48	3.57
8.2													2.80	2.91	3.02	3.13	3.23	3.32	3.41	3.50	3.59
8.4													2.81	2.92	3.03	3.14	3.24	3.34	3.43	3.52	3.61
8.6													2.81	2.93	3.04	3.15	3.25	3.35	3.45	3.54	3.63
8.8														2.94	3.05	3.16	3.26	3.36	3.46	3.55	3.64
9.0														2.94	3.06	3.17	3.27	3.37	3.47	3.57	3.66
9.2															3.06	3.17	3.28	3.38	3.49	3.58	3.68
9.4																3.07	3.18	3.29	3.39	3.50	3.60
9.6																3.07	3.19	3.30	3.40	3.51	3.61
9.8																	3.19	3.30	3.41	3.52	3.62
10.0																		3.20	3.31	3.42	3.53
--	1.14	1.30	1.45	1.60	1.75	1.89	2.04	2.18	2.31	2.45	2.59	2.72	2.85	2.98	3.12	3.24	3.37	3.50	3.63	3.75	3.88

TABLA III con  $t_c = 10$  cm



L	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78	80	82	84	86	88	90
1.0	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.98	0.98	0.98
1.5	1.37	1.37	1.38	1.38	1.38	1.39	1.39	1.39	1.40	1.40	1.40	1.41	1.41	1.41	1.41	1.42	1.42	1.42	1.42	1.42	1.42
2.0	1.72	1.73	1.74	1.75	1.76	1.77	1.77	1.78	1.78	1.79	1.80	1.80	1.81	1.81	1.82	1.82	1.82	1.83	1.83	1.83	1.84
2.5	2.03	2.05	2.06	2.08	2.09	2.10	2.11	2.12	2.13	2.14	2.15	2.16	2.17	2.17	2.18	2.19	2.20	2.20	2.21	2.21	2.22
3.0	2.30	2.32	2.34	2.36	2.38	2.40	2.41	2.43	2.44	2.45	2.47	2.48	2.49	2.50	2.51	2.52	2.53	2.54	2.55	2.56	2.57
3.5	2.53	2.56	2.58	2.61	2.63	2.65	2.68	2.70	2.72	2.73	2.75	2.77	2.78	2.80	2.81	2.83	2.84	2.85	2.87	2.88	2.89
4.0	2.73	2.76	2.79	2.82	2.85	2.88	2.91	2.93	2.96	2.98	3.00	3.03	3.05	3.07	3.08	3.10	3.12	3.14	3.15	3.17	3.18
4.5	2.89	2.94	2.98	3.01	3.05	3.08	3.11	3.15	3.18	3.20	3.23	3.26	3.28	3.31	3.33	3.35	3.37	3.39	3.41	3.43	3.45
5.0	3.04	3.09	3.13	3.18	3.22	3.26	3.30	3.33	3.37	3.40	3.43	3.46	3.49	3.52	3.55	3.58	3.60	3.63	3.65	3.67	3.69
5.5	3.16	3.22	3.27	3.32	3.37	3.41	3.46	3.50	3.54	3.58	3.61	3.65	3.68	3.72	3.75	3.78	3.81	3.84	3.86	3.89	3.92
6.0	3.27	3.33	3.39	3.44	3.50	3.55	3.60	3.64	3.69	3.73	3.77	3.81	3.85	3.89	3.93	3.96	4.00	4.03	4.06	4.09	4.12
6.5	3.36	3.43	3.49	3.55	3.61	3.67	3.72	3.77	3.82	3.87	3.92	3.96	4.00	4.05	4.09	4.13	4.16	4.20	4.24	4.27	4.30
7.0	3.44	3.51	3.58	3.65	3.71	3.77	3.83	3.89	3.94	3.99	4.04	4.09	4.14	4.19	4.23	4.28	4.32	4.36	4.40	4.44	4.47
7.5	3.51	3.59	3.66	3.73	3.80	3.86	3.93	3.99	4.05	4.10	4.16	4.21	4.26	4.32	4.36	4.41	4.46	4.50	4.54	4.59	4.63
8.0	3.57	3.65	3.73	3.80	3.87	3.94	4.01	4.08	4.14	4.20	4.26	4.32	4.38	4.43	4.48	4.53	4.58	4.63	4.68	4.72	4.77
8.5	3.62	3.70	3.79	3.86	3.94	4.02	4.09	4.16	4.22	4.29	4.35	4.42	4.48	4.53	4.59	4.64	4.70	4.75	4.80	4.85	4.90
9.0	3.66	3.75	3.84	3.92	4.00	4.08	4.15	4.23	4.30	4.37	4.44	4.50	4.56	4.63	4.69	4.75	4.80	4.86	4.91	4.96	5.01
9.5	3.70	3.79	3.88	3.97	4.05	4.13	4.21	4.29	4.37	4.44	4.51	4.58	4.65	4.71	4.77	4.84	4.90	4.96	5.01	5.07	5.12
10.0	3.73	3.82	3.92	4.01	4.10	4.18	4.27	4.35	4.42	4.50	4.58	4.65	4.72	4.79	4.85	4.92	4.98	5.04	5.10	5.16	5.22
10.5	3.75	3.85	3.95	4.05	4.14	4.23	4.31	4.40	4.48	4.56	4.63	4.71	4.78	4.86	4.93	4.99	5.06	5.13	5.19	5.25	5.31
11.0	3.78	3.88	3.98	4.08	4.17	4.26	4.35	4.44	4.52	4.61	4.69	4.77	4.84	4.92	4.99	5.06	5.13	5.20	5.27	5.33	5.39
11.5	3.80	3.90	4.00	4.10	4.20	4.30	4.39	4.48	4.57	4.65	4.73	4.82	4.90	4.97	5.05	5.12	5.20	5.27	5.34	5.40	5.47
12.0	3.81	3.92	4.02	4.13	4.23	4.32	4.42	4.51	4.60	4.69	4.78	4.86	4.94	5.02	5.10	5.18	5.26	5.33	5.40	5.47	5.54
12.5	3.82	3.93	4.04	4.15	4.25	4.35	4.45	4.54	4.64	4.73	4.82	4.90	4.99	5.07	5.15	5.23	5.31	5.39	5.46	5.53	5.60
13.0		3.95	4.06	4.16	4.27	4.37	4.47	4.57	4.66	4.76	4.85	4.94	5.03	5.11	5.20	5.28	5.36	5.44	5.51	5.59	5.66
13.5			4.07	4.18	4.29	4.39	4.49	4.59	4.69	4.79	4.88	4.97	5.06	5.15	5.23	5.32	5.40	5.48	5.56	5.64	5.72
14.0				4.19	4.30	4.41	4.51	4.61	4.71	4.81	4.91	5.00	5.09	5.18	5.27	5.36	5.44	5.53	5.61	5.69	5.77
14.5					4.31	4.42	4.53	4.63	4.73	4.83	4.93	5.03	5.12	5.21	5.30	5.39	5.48	5.56	5.65	5.73	5.81
15.0						4.43	4.54	4.65	4.75	4.85	4.95	5.05	5.15	5.24	5.33	5.42	5.51	5.60	5.69	5.77	5.85
15.5							4.55	4.66	4.76	4.87	4.97	5.07	5.17	5.26	5.36	5.45	5.54	5.63	5.72	5.81	5.89
16.0								4.67	4.78	4.88	4.99	5.09	5.19	5.29	5.38	5.48	5.57	5.66	5.75	5.84	5.93
16.5									4.79	4.90	5.00	5.10	5.21	5.31	5.40	5.50	5.59	5.69	5.78	5.87	5.96
17.0										4.91	5.01	5.12	5.22	5.32	5.42	5.52	5.62	5.71	5.80	5.90	5.99
17.5											5.02	5.13	5.23	5.34	5.44	5.54	5.64	5.73	5.83	5.92	6.01
18.0												5.14	5.25	5.35	5.45	5.56	5.65	5.75	5.85	5.94	6.04
18.5													5.26	5.36	5.47	5.57	5.67	5.77	5.87	5.96	6.06
19.0														5.37	5.48	5.58	5.69	5.79	5.89	5.98	6.08
19.5															5.49	5.59	5.70	5.80	5.90	6.00	6.10
20.0																5.60	5.71	5.81	5.91	6.02	6.11
20.5																	5.72	5.82	5.93	6.03	6.13
21.0																		5.83	5.94	6.04	6.14
21.5																			5.95	6.05	6.16
22.0																				6.06	6.17
22.5																					6.18
∞	3.88	4.00	4.12	4.24	4.37	4.49	4.61	4.73	4.85	4.97	5.09	5.21	5.33	5.44	5.56	5.68	5.79	5.91	6.02	6.14	6.25

TABLE III con  $t_0 = 10$  cm

L	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
D																
1.0	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
2.0	1.85	1.87	1.88	1.89	1.89	1.90	1.91	1.91	1.92	1.92	1.92	1.93	1.93	1.93	1.94	1.94
3.0	2.61	2.64	2.67	2.69	2.71	2.73	2.74	2.76	2.77	2.78	2.79	2.80	2.81	2.82	2.82	2.83
4.0	3.25	3.31	3.36	3.40	3.44	3.47	3.50	3.52	3.55	3.57	3.59	3.61	3.62	3.64	3.65	3.66
5.0	3.79	3.88	3.96	4.02	4.08	4.13	4.18	4.22	4.25	4.29	4.32	4.35	4.37	4.40	4.42	4.44
6.0	4.25	4.37	4.47	4.57	4.65	4.72	4.78	4.84	4.89	4.94	4.99	5.03	5.06	5.10	5.13	5.16
7.0	4.64	4.79	4.92	5.04	5.15	5.24	5.32	5.40	5.47	5.54	5.59	5.65	5.70	5.75	5.79	5.83
8.0	4.97	5.15	5.31	5.46	5.59	5.70	5.81	5.90	5.99	6.07	6.15	6.22	6.28	6.34	6.40	6.45
9.0	5.25	5.46	5.65	5.82	5.97	6.11	6.24	6.36	6.46	6.56	6.65	6.74	6.82	6.89	6.96	7.02
10.0	5.49	5.73	5.95	6.14	6.32	6.48	6.63	6.76	6.89	7.01	7.11	7.21	7.31	7.39	7.48	7.55
11.0	5.69	5.96	6.20	6.42	6.62	6.81	6.97	7.13	7.27	7.41	7.53	7.65	7.76	7.86	8.96	8.05
12.0	5.86	6.16	6.42	6.67	6.89	7.10	7.28	7.46	7.62	7.77	7.92	8.05	8.17	8.29	8.40	8.50
13.0	6.01	6.33	6.62	6.88	7.13	7.35	7.56	7.76	7.94	8.11	8.26	8.41	8.55	8.68	8.81	8.92
14.0	6.14	6.48	6.79	7.08	7.34	7.59	7.81	8.03	8.22	8.41	8.58	8.75	8.90	9.05	9.18	9.31
15.0	6.25	6.61	6.94	7.24	7.53	7.79	8.04	8.27	8.48	8.69	8.88	9.06	9.22	9.38	9.53	9.68
16.0	6.34	6.72	7.07	7.39	7.70	7.98	8.24	8.49	8.72	8.94	9.14	9.34	9.52	9.69	9.86	10.01
17.0	6.42	6.81	7.18	7.53	7.85	8.15	8.43	8.69	8.94	9.17	9.39	9.60	9.79	9.98	10.16	10.33
18.0	6.48	6.90	7.28	7.64	7.98	8.29	8.59	8.87	9.13	9.38	9.61	9.84	10.05	10.25	10.44	10.62
19.0	6.54	6.97	7.37	7.75	8.10	8.43	8.74	9.03	9.31	9.57	9.82	10.06	10.28	10.49	10.70	10.89
20.0	6.59	7.03	7.45	7.84	8.20	8.55	8.87	9.18	9.47	9.75	10.01	10.26	10.50	10.72	10.94	11.14
21.0	6.63	7.09	7.52	7.92	8.30	8.66	9.00	9.32	9.62	9.91	10.18	10.45	10.69	10.93	11.16	11.38
22.0	6.67	7.13	7.58	7.99	8.38	8.76	9.11	9.44	9.76	10.06	10.35	10.62	10.88	11.13	11.37	11.59
23.0	6.69	7.17	7.63	8.06	8.46	8.84	9.21	9.55	9.88	10.19	10.49	10.78	11.05	11.31	11.56	11.80
24.0	6.72	7.21	7.67	8.11	8.53	8.92	9.30	9.65	9.99	10.32	10.63	10.92	11.21	11.48	11.74	11.99
25.0	6.74	7.24	7.71	8.16	8.59	8.99	9.38	9.75	10.10	10.43	10.75	11.06	11.35	11.64	11.91	12.17
26.0		7.26	7.75	8.21	8.64	9.06	9.45	9.83	10.19	10.54	10.87	11.19	11.49	11.78	12.06	12.33
27.0		7.28	7.78	8.24	8.69	9.12	9.52	9.91	10.28	10.64	10.98	11.30	11.62	11.92	12.21	12.49
28.0		7.30	7.80	8.28	8.73	9.17	9.58	9.98	10.36	10.73	11.08	11.41	11.74	12.05	12.35	12.63
29.0			7.82	8.31	8.77	9.21	9.64	10.04	10.43	10.81	11.17	11.51	11.84	12.16	12.47	12.77
30.0			7.84	8.33	8.80	9.25	9.69	10.10	10.50	10.88	11.25	11.60	11.95	12.27	12.59	12.90
31.0				8.35	8.83	9.29	9.73	10.15	10.56	10.95	11.33	11.69	12.04	12.38	12.70	13.02
32.0				8.37	8.86	9.32	9.77	10.20	10.62	11.02	11.40	11.77	12.13	12.47	12.81	13.13
33.0				8.39	8.88	9.35	9.81	10.25	10.67	11.07	11.47	11.84	12.21	12.56	12.90	13.23
34.0					8.90	9.38	9.84	10.29	10.71	11.13	11.53	11.91	12.28	12.64	12.99	13.33
35.0					8.92	9.40	9.87	10.32	10.76	11.18	11.58	11.98	12.36	12.72	13.08	13.42
36.0						9.42	9.90	10.35	10.80	11.22	11.64	12.03	12.42	12.79	13.16	13.51
37.0						9.44	9.92	10.38	10.83	11.26	11.68	12.09	12.48	12.86	13.23	13.59
38.0						9.46	9.94	10.41	10.86	11.30	11.73	12.14	12.54	12.93	13.30	13.66
39.0							9.96	10.43	10.89	11.34	11.77	12.19	12.59	12.98	13.37	13.74
40.0							9.98	10.46	10.92	11.37	11.81	12.23	12.64	13.04	13.43	13.80
41.0								10.47	10.94	11.40	11.84	12.27	12.69	13.09	13.48	14.87
42.0								10.49	10.96	11.43	11.87	12.31	12.73	13.14	13.54	13.92
43.0								10.51	10.98	11.45	11.90	12.34	12.77	13.18	13.59	13.98
44.0									11.00	11.47	11.93	12.37	12.80	13.22	13.63	14.03
45.0									11.02	11.49	11.95	12.40	12.84	13.26	13.68	14.08
46.0										11.51	11.97	12.43	12.87	13.30	13.72	14.12
47.0										11.52	11.99	12.45	12.90	13.33	13.75	14.17
48.0											11.54	12.01	12.47	12.92	13.36	13.79
49.0												12.03	12.49	12.95	13.39	13.82
50.0													12.04	12.51	12.97	13.42
-	6.82	7.38	7.93	8.48	9.02	9.56	10.09	10.62	11.14	11.66	12.18	12.69	13.20	13.70	14.21	14.71

TABLE III  $\cos \alpha_0 = 10 \text{ cm}$

# NOMOGRAMA N°1 POR ROBERT LAGACE

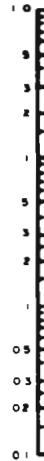
DISEÑO DE LOS DRENES  
DE BARRO COCIDO.

MINISTERIO DE LA AGRICULTURA DE  
QUEBEC. ABRIL 1976

$n = 0.011$

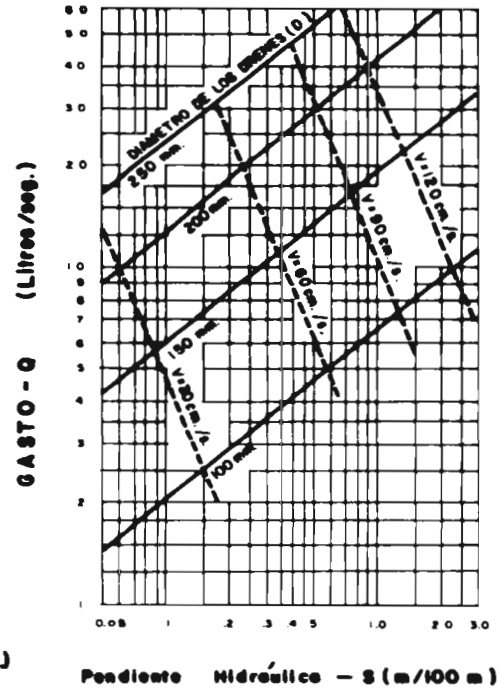


GASTO UNITARIO -  $q$  (  $m^3/m \cdot día$  )



$$L = \frac{2.43 \times 10^{-3}}{q} D^{0.75} S^{1/2} \text{ (en m.)}$$

D en mm.  
S en m./100 m.  
q en  $m^3/m \cdot día$

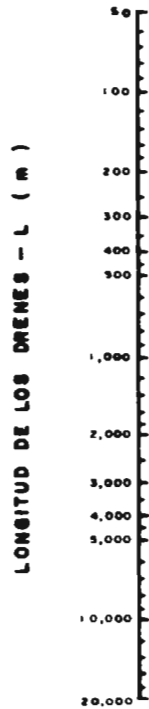


# NOMOGRAMA Nº 2 POR ROBERT LAGACE

DISEÑO DE LOS DREÑES  
DE POLIETILENO.

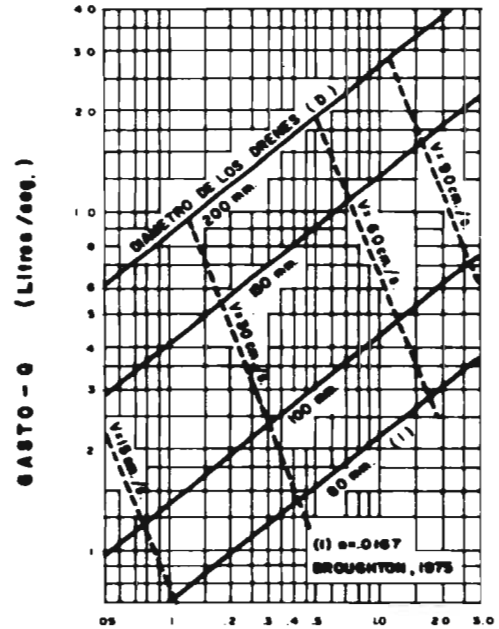
MINISTERIO DE LA AGRICULTURA DE  
QUEBEC. ABRIL 1976

$n = 0.016$



$$L = \frac{1.67 \times 10^{-3}}{q} \frac{D^3 s^{1/2}}{n} \quad (\text{en m.})$$

- D en mm.
- s en m./100 m.
- q en m³/m.-día



B I B L I O G R A F I A

1. Schwab, Frevert, Edminster, Barnes, "Soil and Water Conservation Engineering". Second Edition. John Wiley & Sons.
2. James N. Luthin. "Drainage Engineering". Krieger. -- 1973.
3. Bruce Withers, Stanley Vipond. "El Riego: diseño y práctica". Diana. 1978.
4. James N. Luthin. "Drenaje de tierras agrícolas". Limusa Wiley. 1967.
5. "Drainage of Agricultural Land". Soil conservation Service, U.S. Department of Agriculture. Water Information Center.

6. Robert Lagacé. "*Le Tarissement Des Nappes En Sol Agricole Et La Porosité de Drainage*". Thèse de Maîtrise, Université Laval. Février 1977.
7. Jesús Takeda Inuma. "*Notas de Drenaje Agrícola*". Escuela Nacional de Agricultura, Departamento de Irrigación. 1967.
8. "*Third National Drainage Symposium*". American Society of Agricultural Engineers. 1976.
9. Maurice Poirée, Charles Ollier. "*Assainissement Agricole*". 3<sup>e</sup> édition. Eyrolles. 1969.
10. Luis R. Ramírez, Carlos Alva A. "*Ecuaciones para el cálculo de espaciamiento de drenes*". CIDIAT. 1976.
11. Jerald E. Christiansen. "*Análisis de los diferentes tipos de flujo subterráneo con respecto a los diferentes métodos de drenaje*". CIDIAT. 1974.
12. J. Kessler, H. Yap Salinas. "*Curso Nacional de Drenaje*". Universidad Nacional Agraria.
13. "*Information générale*". Drainage Souterrain. Avril --- 1976.

14. "Cahier des normes". Drainage Souterrain. Juin 1978.
15. Humberto Yap Salinas. "Principios de Flujo de Agua en Medios Porosos". Pub. No. 33. Universidad Nacional Agraria. 1974.
16. "Ingeniería de Riego y Drenaje". Centro de Educación Continua, U.N.A.M. Octubre 1979.
17. Martin M. Fogel, Lucien Duckstein, William T. O'Brien. "Optimal Design and Operation of Drainage Systems". Paper No. 79-2071. ASAE and CSAE. June 1979.
18. William T. Moody. "Nonlinear Differential Equation of Drain Spacing". Journal of the Irrigation and Drainage Division, Vol. 92, June 1966.
19. John G. Sakkas. "Generalized Nomographic Solution of Hooghoudt Equations". Journal of the Irrigation and Drainage Division, Vol. 101, March 1975.
20. R. Wayne Skaggs. "Drawdown Solutions for Simultaneous Drainage and ET". Journal of the Irrigation and Drainage Division, Vol. 101, Dec. 1975.
21. W.F.J. Van Beers. "Some Nomographs for the Calculation of Drain Spacings". Bulletin 8. H. Veenman & Zonen N.V. 1965.