

08T(388)C  
MFN: 984

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERIA



LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

PABLO RODOLFO KÖNG BENDFELDT

Guatemala, julio de 1976

JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERIA DE LA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

DECANO	Ing. Hugo Quan Ma
VOCAL 1o.	Ing. Julio Campos Bonilla
VOCAL 2o.	Ing. Roberto Barrios
VOCAL 3o.	Ing. Leonel Aguilar Girón
VOCAL 4o.	Br. Jorge Guzmán Botrán
VOCAL 5o.	Br. Felipe A. Berganza
SECRETARIO	Ing. Manuel A. Castillo G.

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL  
EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Hugo Quan Ma
EXAMINADOR	Ing. Héctor E. Molina
EXAMINADOR	Ing. Edgar A. Diaz
EXAMINADOR	Ing. Héctor Cruz
SECRETARIO	Ing. José Luis Terrón

**TESIS DE REFERENCIA**  
**NO**  
SE PUEDE SACAR DE LA BIBLIOTECA  
BIBLIOTECA CENTRAL-USAC.

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con lo establecido por la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a vuestra consideración mi trabajo de tesis titulado:

PRINCIPIOS DE INGENIERIA APLICADOS AL  
DISEÑO Y EJECUCION DE PROYECTOS  
DE DRENAJE DE TIERRAS AGRICOLAS

Tema que me fuera asignado por la Honorable Jun  
ta Directiva de la Facultad de Ingeniería.

D E D I C A T O R I A

A LA MEMORIA DE MI MADRE :

SOFIA BENDFELDT DE KÖNG

A MI PADRE :

PABLO KÖNG OSSAYE

A MI ESPOSA :

RAQUEL MENDOZA DE KÖNG

A MI HIJA :

RAQUEL SOFIA

A MI HERMANA :

CARLOTA KÖNG DE ECHEVERRIA

A MIS FAMILIARES

A LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS

AGRADECIMIENTO :

AL ASESOR DE ESTE TRABAJO  
ING. VICTOR HUGO GONZALEZ W.

## CONTENIDO

### INTRODUCCION

1.	Principios generales de drenaje agrícola	1
1.1	Planteamiento del problema	1
1.2	Causas que provocan el problema	3
1.3	Características del suelo que afectan el drenaje natural	4
1.4	Fuerzas que retienen el agua en el suelo	7
1.5	Finalidad de un proyecto de drenaje agrícola	7
2.	Estudios e Investigaciones	9
2.1	Visitas de campo	9
2.2	Estudios topográficos	10
2.3	Estudios de suelos	10
2.4	Estudios de niveles freáticos	11
2.5	Plano de niveles freáticos	19
2.6	Plano de profundidad al nivel freático	21
2.7	Plano de profundidad al estrato impermeable o barrera	24
2.8	Perfiles del nivel freático	26
2.9	Conductividad hidráulica	26
3.	Movimiento del agua hacia el drenaje	34
3.1	Derivación de la ecuación	37
3.2	Ejemplo de aplicación	43
4.	Sistemas de drenaje	45

5.	Diseño de drenes abiertos	49
5.1	Determinación del perfil longitudinal	53
5.2	Dimensionamiento de drenes abiertos	57
5.3	La inclinación del talud	59
5.4	Estructuras de protección del talud	60
6.	Diseño de drenes entubados	62
6.1	Profundidad máxima	64
6.2	Profundidad mínima	65
6.3	Gradiente mínima	65
6.4	Gradiente máxima	66
6.5	Diámetro de los drenes	66
6.6	Material de los tubos	68
6.7	Material filtrante de cobertura	69
7.	Drenaje libre o "Topo" con drenaje en tuberías	71
8.	Drenaje de Pozos	78
8.1	Consideraciones generales	79
8.2	Mecanismo del drenaje por pozos	82
8.3	Diseño de un sistema de drenaje por pozos	84
8.4	Operación y mantenimiento	86
9.	Maquinaria y Equipo	88
9.1	Maquinaria y equipo en construcción y mantenimiento de drenes abiertos	88
9.2	Selección de maquinaria	88
9.3	Replanteo y preparación del terreno	89

9.4	Excavación a mano	89
9.5	Excavación con maquinaria	90
9.6	Características y usos de algunas máquinas	90
9.7	Cortadoras hidráulicas para taludes	92
9.8	Zanjadoras tipo rotativo	93
9.9	Excavadoras de drenes abiertos de disco rotativo	93
9.10	Mantenimiento de drenes abiertos	94
9.11	Mantenimiento mecánico	95

## INTRODUCCION

Guatemala tiene grandes áreas que reúnen condiciones favorables para la agricultura pero éstas no pueden desarrollarse porque su potencial está limitado, no solo por la escasez y mala distribución de las lluvias, sino también por las inundaciones temporales que ocurren todos los años durante el invierno y por un problema potencial de salinidad de las aguas subterráneas que afecta una faja adyacente al océano pacífico y a zonas del Norte y Nororiente del país, las cuales se acercan a las 500,000 hectáreas. Los beneficiarios directos a la realización de proyectos de riego y drenaje son agricultores de posibilidades limitadas tanto técnicas como económicas. Las áreas factibles de riego van disminuyendo, surgiendo la necesidad de conservar las obras existentes, lo que justifica en la prevención y combate de los problemas de drenaje y ensaltramiento de los suelos agrícolas.

Creo que estas anotaciones estarán contribuyendo al aplicar una rama de la ingeniería al desarrollo y tecnificación de la agricultura del país.

### 1. PRINCIPIOS GENERALES DE DRENAJE AGRICOLA

#### 1.1 Planteamiento del Problema

Las raíces de los cultivos comunes se desarrollan principalmente arriba de la napa freática ya que para su desarrollo necesitan condiciones de aereación en el suelo, por ser el oxígeno necesario para el crecimiento, toma de agua y nutrientes del suelo. Abajo de la napa freática los poros del suelo se encuentran saturados de agua y por lo tanto sin aereación,-



provocando los siguientes problemas:

- a) Acumulación de  $\text{CO}_2$  (anhídrido carbónico) - en el suelo el cual es perjudicial para el desarrollo de las plantas.
- b) Exceso de humedad que produce una baja nutrición e influencia la actividad micro--biana la cual provoca la retardación en la mineralización de la materia orgánica.
- c) Provoca enfermedades y pudrición de las - raíces.
- d) Costos más altos en las labores de prepa- ración y retardo del cultivo por irregula- ridad de crecimiento y tiempo de madura-- ción.
- e) Presencia de malas hierbas.
- f) Salinización del suelo, por ascenso de a- gua por capilaridad, la que al evaporarse en la superficie deposita sales nocivas - en los estratos superiores.

Además de los efectos que causa a los sue los y cultivos provoca otros problemas:

- a) Afectaciones a las construcciones por a-- sentamientos e inestabilidad.
- b) Demoras en la intercomunicación terrestre.
- c) Peligros de incremento de avenidas ya que al estar saturado el suelo, la totalidad de agua de lluvia escurre abruptamente.
- d) Presencia de plagas y enfermedades perju- diciales al hombre y animales.

## 1.2 Causas que provocan el problema

### El Drenaje y su relación con el suelo:

En las condiciones de los climas húmedos y semi-húmedos tropicales, los problemas de drenaje resultan como consecuencia de un desigual régimen pluvial y evapotranspiratorio durante un período que varía entre 6 y 8 meses, formándose grandes avenidas por la saturación del suelo.

Durante los siguientes 4 ó 6 meses, sobreviene un período de sequía con gran evapotranspiración; por lo que agotada la reserva de humedad en el suelo, la posibilidad potencial de realizar cultivos solo puede ser aprovechada con el concurso de riego artificial justificada como parte de una política de desarrollo agrícola y de transformación de la estructura social y económica. Dadas las condiciones de la formación de los suelos, las áreas a irrigar en las tierras llanas del trópico presentan una baja capacidad natural de drenaje, durante el período de lluvias, los niveles freáticos ascienden aproximándose a la superficie del suelo. En el período de sequía, la descarga es superior a la recarga y los niveles bajan.

La introducción del riego modifica el balance hídrico en equilibrio con el clima, dando origen a otra importante fuente de recarga como pérdidas de riego.

En tal caso, es posible, que aparezcan evidencias de exceso de agua si el manejo del riego no es el adecuado, en cuanto a conducción, distribución y aplicación racional de agua al cultivo.

### 1.3 Características del suelo que afectan el drenaje natural

El suelo es un sistema polifásico, con una fase sólida 50%, una fase líquida 25% y una fase gaseosa 25%, donde se producen relaciones de interfase.

La fase sólida la integran las partículas o material del suelo, que no cambia volumétricamente, mientras que la gaseosa o aire del suelo y líquida o humedad del suelo son inversamente proporcionales o sea a medida que aumenta el contenido de agua disminuye el aire y viceversa.

La fase sólida del suelo está compuesta por una fracción orgánica y una inorgánica.

La fracción orgánica está compuesta de residuos vegetales en diferente grado de descomposición de la cual depende su actividad biológica.

La fracción inorgánica que es la preponderante, está formada por las partículas primarias de arena, limo y arcilla, mineralógicamente compuesta de cuarzo, feldespato, cloruros, sulfatos, bicarbonatos y carbonatos de sodio, calcio y magnesio, con amplia gama en su solubilidad.

La proporción relativa de arena, limo y arcilla define la textura del suelo, que es una propiedad física de fundamental importancia en drenaje, ya que condiciona la capacidad de transmisión del agua, al afectar la permeabilidad de los estratos.

### 1.3.1 Estructura del suelo

Es la forma de agregación de las partículas primarias, es una propiedad importante que condiciona la dinámica del agua, velocidad de penetración y permeabilidad.

El grado de estabilidad de los agregados, depende del tipo de arcilla, de la cantidad de materia orgánica y de la composición química de la solución del suelo.

#### Tipos estructurales tomado de Buckman y Brady

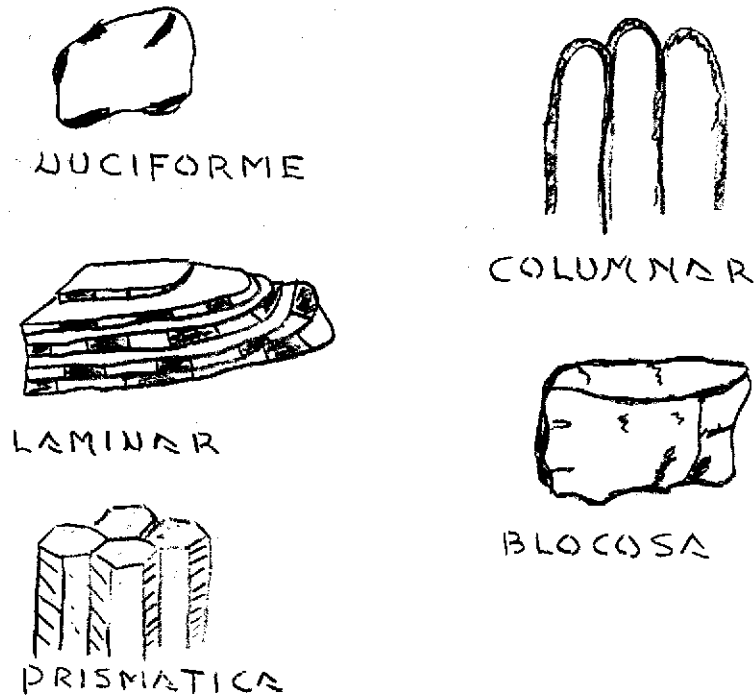


FIG 1.1

### 1.3.2 El Perfil del Suelo

Es un corte vertical de su masa que describe la secuencia de las capas, las características particulares de cada capa que depende de los factores de formación que han actuado (material de relieve, clima, materia orgánica, erupciones y tiempo) que constituyen las bases para su clasificación.

En términos muy amplios el suelo se divide en tres horizontes o capas: Capa A eluviación, capa B iluviación y capa C material de progénesis.

En algunos casos el material de progénesis es roca y los suelos son primarios y residuales, mientras que en otros casos el material ha sido transportado por el agua (aluviales) o por el viento (eólicos).

En relación con el drenaje, es muy importante la estratificación, dado que las características texturales y estructurales de cada estrato, afectan en forma diferente la capacidad de transmisión del agua.

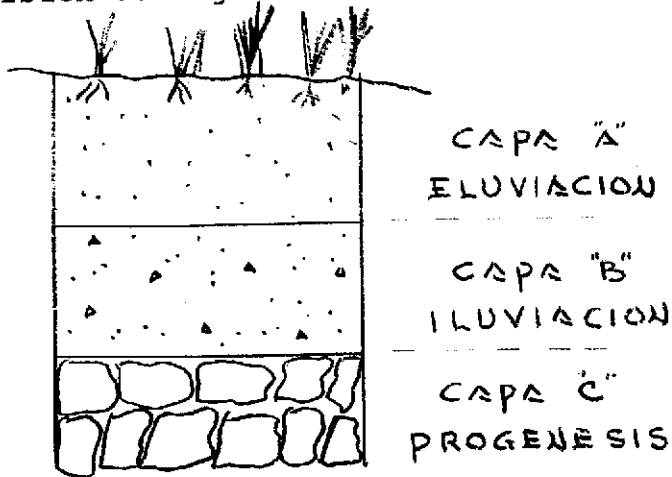


FIG 4.2

### 1.3.3 Porosidad:

La porosidad del suelo es una relación entre el volumen de sus espacios ocupados por el agua y aire, y el volumen bruto total del mismo.

Los valores de porosidad comunes en los suelos minerales, varían entre un 40% en arenosos y un 55% en arcillosos.

Otro aspecto importante a considerar es la distribución del espacio poroso, en cuanto a proporción de macro y micro poros, dada la íntima relación que esto tiene con la retención del agua contra la gravedad y con la percolación o pasaje del agua a través del mismo.

### 1.4 Fuerzas que retienen el agua en el suelo

Al someter un volumen de suelo saturado a la acción de las fuerzas de gravedad, se verá que cede una parte de líquido llamándose agua libre o gravitacional, quedando otra parte retenida por acción capilar por fuerzas de adhesión sólido-agua y cohesión agua-agua.

Si a un suelo de nivel freático próximo a la superficie se le interrumpe la evaporación: el agua asciende por efecto de la capilaridad, hasta que alcanza condiciones de equilibrio.

### 1.5 Finalidad de un proyecto de drenaje agrícola

La finalidad del drenaje es la de incorporar tierras inservibles por sus condiciones de empantamiento y transformarlas en tierras aptas al desarrollo de la agricultura, regulando los regímenes de humedad adecuados a los culti

vos según criterios técnicos y económicos.

La justificación técnica y económica del estudio descansa en los siguientes puntos:

Evitar el peligro que representa la salinización de los suelos en zonas donde la napa freática se encuentre muy elevada.

Aumentar el valor bruto de la producción agrícola.

Beneficio a la economía y aumento sustancial en las fuentes de trabajo.

Mejorar en general el nivel de vida de la población rural.

## 2. ESTUDIOS E INVESTIGACIONES

Los estudios estarán encaminados a encontrar los datos siguientes:

Cual es la fuente que produce el exceso de agua.

La cantidad de agua que debe ser extraída.

La existencia o lugar adecuado para eliminar el exceso de agua.

Elementos de juicio para escoger el tipo de drenaje.

### 2.1 Visita de Campo

El reconocimiento de campo nos da una idea general del problema, permitiendo observar:

La ubicación y dimensión de quebradas y drenes naturales.

Ubicación de fuentes de agua tales como: embalses, lagunas, ríos, canales de irrigación, etc.

Si existen sistemas de riego investigar la práctica o método empleado.

Estimación del nivel del agua subterránea.

Marcas de la altura de crecida de ríos fácilmente reconocibles.

Accidentes topográficos existentes.

Pláticas con personas del lugar para obtener información del comportamiento de diferentes áreas.



## 2.2 Estudios topográficos

Generalmente es posible encontrar planos y fotografías áreas que fueron usados para -- otro fin, donde podemos ver los accidentes naturales de importancia, que facilitarán el trazo del sistema de drenajes.

Las escalas de dichos planos estarán relacionadas con el tamaño, pendiente de la zona y precisión del estudio.

Es común el uso de escala 1:50,000 para -- estudios preliminares de grandes áreas, 1: -- 25,000 para estudios más precisos en áreas de menor tamaño y 1:5,000 para estudios más detallados o especiales.

Los mapas deben incluir los cauces naturales, ubicación de estructuras hidráulicas, (embalses, presas, trazo de la red de canales de irrigación), etc.

En estudios preliminares y con relieve -- considerable puede usarse curvas de nivel de -- equidistancia entre 1.00 y 1.50 mts.

Para trazo de sistemas de drenaje a 0.50 mts. y en terrenos llanos puede requerirse hasta cada 0.25 mts. de equidistancia.

El estudio topográfico comprenderá la obtención de perfiles longitudinales de los cauces naturales y ríos, de los posibles colectores.

## 2.3 Estudios de suelos

Los mapas de suelos son de valiosa ayuda por permitir delimitar áreas con determinadas

## Características.

Los mapas edafológicos al describir un perfil y detallar las características físicas de cada horizonte y en especial su estructura y textura da una idea de los potenciales problemas de drenaje ya sea por drenaje interno, barreras o bien casos de lenta permeabilidad.

### 2.4 Estudios de niveles freáticos

Los estudios de agua del subsuelo constituye el aspecto central para establecer el grado y extensión de los problemas de drenaje.

Para medir el nivel del plano freático pueden usarse:

- a) Los pozos para provisión de agua que permiten registrar el nivel estático.
- b) las superficies libres de agua como lagunas y pantanos que suministran información de utilidad al estar conectados con el agua subterránea ya que podrían constituir zonas de recarga o de descarga de los acuíferos.
- c) Pozos hechos con fines específicos de investigación que llamaremos pozos de observación que por su importancia trataremos en detalle

#### 2.4.A Pozos de observación

Los pozos de observación son perforaciones en el suelo y subsuelo para permitir la observación del nivel de las aguas y toma de muestras para análisis de la calidad del agua.

Consisten en un hoyo simple, vertical, de

pequeño diámetro que puede protegerse por tube  
ría y un filtro dependiendo de las condiciones  
en que son instalados y los objetivos para los  
que van a ser utilizados. Para la instalación  
y utilización de pozos de observación se sigue  
el siguiente procedimiento:

- 1) Planeamiento de la red
- 2) Localización de campo
- 3) Excavación del hoyo
- 4) Registros de excavación
- 5) Medición
- 6) Toma de muestras

#### 2.4.B Planeamiento de la red

Para el planeamiento de la red de pozos -  
de observación deben considerarse los siguien-  
tes factores:

1. Delimitación del área de la cual se nece-  
sita información. La red de pozos debe in  
cluir:
  - a) Toda el área que según un reconocimiento  
se considera con problemas de alta  
napa freática temporal o permanente.
  - b) Las áreas que se dude que puedan o no  
tener el mismo problema.
  - c) Areas circundantes, principalmente a--  
quellas que tengan alguna relación con  
la causa del problema, es decir, con -  
el origen de la recarga de las aguas -  
freáticas

#### 2.4.C Densidad de la red

La separación entre pozos de observación de una red básica, depende de la aproximación con que se realiza el estudio; el autor Matías Prieto consultor en drenaje recomienda los siguientes espaciamientos:

<u>Nivel del Estudio</u>	<u>Separación</u>
Reconocimiento	1 pozo cada 100 ha
Semidetallado	1 pozo cada 25
Detallado	1 pozo cada 1 a 4 ha

aumentándose en las zonas que se sabe o asume que la napa freática tiene ondulaciones o pendientes variables.

#### Líneas de pozo

En los casos de aproximidad de ríos, canales, lagunas y otras fuentes de recarga del freático superficial, se instalan los pozos de observación en alineamientos perpendiculares a las riberas. El espaciamiento entre pozos será menor cerca de la ribera y mayor cuanto está más alejado de ella.

Similar criterio se usa en los casos de afluentes, quebradas o depresiones, zanjales, pozos bombeados ya que actúan como drenes del freático superficial, provocando depresión de su nivel.

Es conveniente densificar la red en casos de cambios de gradiente superficial del terreno o cambios bruscos de relieve como barrancos y acantilados.

#### 2.4.D Localización de campo

##### Plan previo y posibilidades físicas

Basada en la red planeada en el plano o - aerofotografías se trata de ubicar el pozo en el campo lo más aproximado posible al punto en que fue señalado; por lo regular existen dificultades para hacerlo así, por lo tanto se puede modificar la ubicación inicialmente planteada, tratando de conservar los criterios por los que fue ubicada y manteniendo su importancia relativa en la red general.

Los pozos o norias pueden servir como pozos de observación en los reconocimientos preliminares.

#### Accesibilidad

El pozo debe excavarse en lugar de fácil acceso y de preferencia en la orilla de los caminos o recorridos para facilitar la tarea de la medición periódica.

#### Protección

Conviene instalarlos discretamente y en muchos casos ocultar la instalación pues es común que sean destruidos sobre todo por niños simplemente por haberse percatado de su existencia o por curiosidad. Es conveniente informar al agricultor de la vecindad sobre el propósito y objetivo del pozo de observación, para que así colabore en su protección.

#### 2.4.E Registro de Excavación

Para tomar información para el estudio del suelo y subsuelo de la zona es muy conveniente que al realizar la perforación se anote:

- a) Profundidad de cada capa o estrato desde la superficie del suelo.

- b) Color, consistencia y textura de cada capa.
- c) Presencia de grava, rocas, etc.
- d) Profundidad de suelo saturado y profundidad del pozo instalado.
- e) Realizar un croquis detallado de la ubicación del pozo de modo que pueda ser ubicado, aún cuando ha sido cubierto o enterrado.

### Numeración de Pozos

Se recomienda lo siguiente:

- a) Cuadrangular cada hoja del plano disponible de la zona, preferentemente utilizando coordenadas en no menos de 25 cuadrículas.
- b) Nominar las cuadrículas del plano con letras.
- c) Numerar los pozos de la cuadrícula cronológicamente según su instalación.
- d) En el caso que se cuente con una sola hoja del plano la nomenclatura del pozo sería la siguiente:

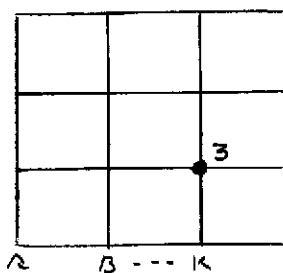
### Ejemplo:

P-K-3

P = Pozo de observación

K = Ubicado en la cuadrícula K

3 = Tercer pozo ubicado en dicha cuadrícula



## Acotaciones

Por nivelación obtenemos la cota del terreno y al medir la profundidad al nivel freático, puede obtenerse también la cota de este último.

La losa superior del pozo sirve de BM para otras nivelaciones y cotas de referencia usados en el levantamiento del plano topográfico disponible.

Este punto es muy importante porque de otra manera no podría utilizarse el plano topográfico en combinación con los datos del nivel freático para el análisis y estudio del problema.

### 2.4.F Mediciones

#### En pozos temporales

La profundidad al nivel freático la podemos medir utilizando una gran variedad de instrumentos:

- una varilla de madera o caña tiznada con yeso.
- Por sonda de sonido la cual emite un silbido al chocar con el nivel del agua.
- sonda eléctrica

La medición no debe realizarse inmediatamente después de la excavación, habrá que esperar la recuperación del nivel a su situación estática que en suelos arcillosos de baja conductividad hidráulica puede tardar más de 4 horas.

## Frecuencia

La frecuencia de las mediciones depende - de muchos factores:

- a) Oscilaciones estacionales, pueden reali--zarse cuatro mediciones anuales, de in---vierno donde la posición del nivel freático estará más alta, de verano o nivel bajo y otras dos en momentos intermedios a ambos.

Es lo recomendado cuando la lluvia es la principal fuente de recarga.

- b) Oscilaciones de recargas específicas. Si la napa freática es recargada por fuentes tales como reservorios, torrentes eventuales, riego, etc. la frecuencia en las mediciones será relativa al tipo de oscilación que presente la fuente de recarga se tratará de obtener información.
- al iniciarse la causa de la recarga
  - en la época media que está produciéndose la recarga
  - al cesar la causa de la recarga o encontrarse en punto mínimo.
  - en dos oportunidades dentro del período de no recarga.

## Frecuencias iniciales

Si no se tiene datos del tipo de varia---ción o duración de estos, es necesario que en el período inicial de estudio se hagan mediciones frecuentes para determinar posteriormente en base a éstos, la frecuencia regular de las observaciones.

La frecuencia inicial puede efectuarse --mensualmente o menor si se nota grandes oscilaciones.



## Pozos - tipos

Si realizamos mediciones a intervalos mayores de 2 ó 3 meses podemos tomar pozos característicos de fácil acceso y efectuar mediciones muy frecuentes o diarias con el objeto de preparar histogramas típicos.

### 2.4.G Toma de las Muestras

Se extraen muestras de agua freática para analizar su contenido de sales solubles o para relacionar alguna característica de la calidad del agua con las causas o las consecuencias -- del problema de alta napa freática. En ciertos casos se puede identificar la ubicación de una fuente de contaminación salina de la napa freática al indicar en un plano el contenido de sales en cada uno de los pozos de la red.

En otros casos se identifica la ubicación de una recarga del freático por tener en cierta zona del freático menor contenido salino o diferente proporción de ciertos elementos solubles.

### Método y equipo

Una manera simple consiste en utilizar -- una pieza de tubo de menor diámetro que el pozo, tapado en su extremo inferior y sostenido por una cuerda. La pieza del tubo puede tener unos 20 cms. de largo y extremo superior abierto por donde ingresará el agua.

Generalmente es suficiente recolectar 50 cms<sup>3</sup> que se depositan en recipiente de vidrio ó plástico para su traslado al laboratorio, se anota el número de pozo y fecha de extracción de la muestra y el nombre del área en cuestión, lavando el equipo antes de volver a usarlo en otro pozo de observación.

## 2.5 Plano de niveles freáticos

Interpolando las cotas del nivel freático obtenidos al relacionar las lecturas de los pozos de observación a un plano de comparación obtenemos las isolíneas del nivel freático ó "isohypsas" los cuales pueden estar a una equidistancia entre 0.25 a 0.50 mts. según los gradientes hidráulicos disponibles.

Del plano de "isohypsas" pueden obtenerse varias conclusiones:

1. dirección del flujo
2. gradiente hidráulico
3. área de descarga o recarga
4. valor relativo de la conductividad hidráulica.

Las isohypsas referidas a un determinado plano de comparación representan a su vez líneas de igual potencia, o equipotenciales. Como las líneas de flujo en condiciones de isotropía son normales a las equipotenciales y orientadas en dirección a los potenciales decrecientes, el plano mostrará la dirección del flujo, en general o parcialmente.

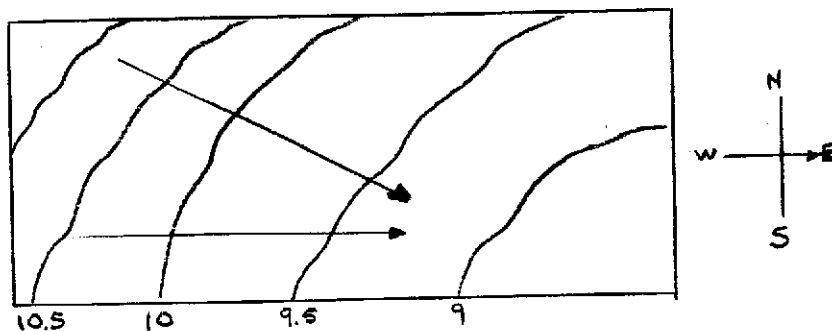


FIG 2.2

Líneas concéntricas de valores crecientes nos indica áreas de recarga que podría ser por efecto de riego.

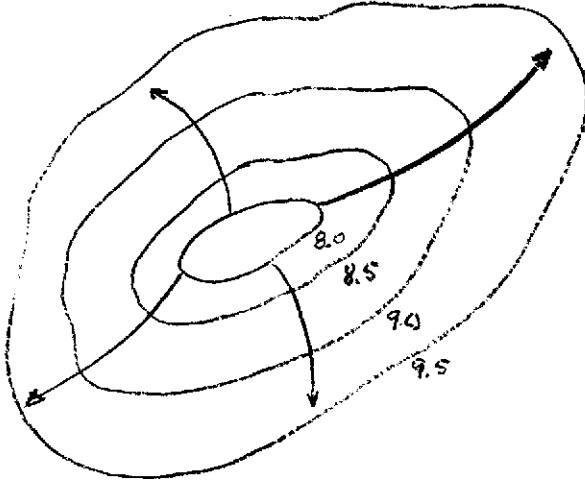


FIG 23

Un cambio en el gradiente hidráulico puede estar relacionado con la conductividad hidráulica o transmisibilidad del estrato.

La ecuación de Darcy nos ayuda a sacar conclusiones con respecto a las características relativas del estrato. Si tenemos pruebas de que "Q" se mantiene constante, pero en cambio varía el gradiente podemos determinar:

$$Q = t_1 i_1 = T_2 i_2$$

Q = Gasto  
 T = Transmisibilidad  
 i = Gradiente

o sea que los gradientes son inversamente pro-

porcionales a las transmisibilidades; de manera que  $i$  varía con  $T$ . Si contrariamente sabemos que  $T$  es la misma, entonces el gradiente - varía al variar  $Q$ .

$$Q_1 = Ti_1 ; Q_2 = Ti_2$$

ya que los niveles freáticos son dinámicos, es decir que cambian en función del tiempo, cada lectura correspondiente a una fecha determinada permite la confección de un plano. Un registro mensual nos proporciona información suficiente con fines de diseño (pero no significa suspender observaciones).

Los planos que corresponden al nivel máximo y mínimo son de particular interés; en especial por las diferencias de cota entre los dos, que muestra el ascenso con el régimen de recarga existente y la capacidad de descenso relacionada al dren natural.

## 2.6 Plano de profundidad al nivel freático

En los pozos de observación se mide el nivel freático y se anota la cota a nivel del terreno la diferencia representa la profundidad a la cual se halla el freático. Al trazar por interpolación las isolíneas correspondientes - "isobatas" obtenemos un plano que nos mostrará las áreas de mayor recarga o problema.

Si fijamos escalas de profundidad del nivel freático por ejemplo cada 0.50 mts. planimetraremos las áreas correspondientes, obtenemos las superficies absolutas y relativas que corresponden a cada categoría.

Este es el plano más importante para justificar o no la realización de una obra de drenaje.

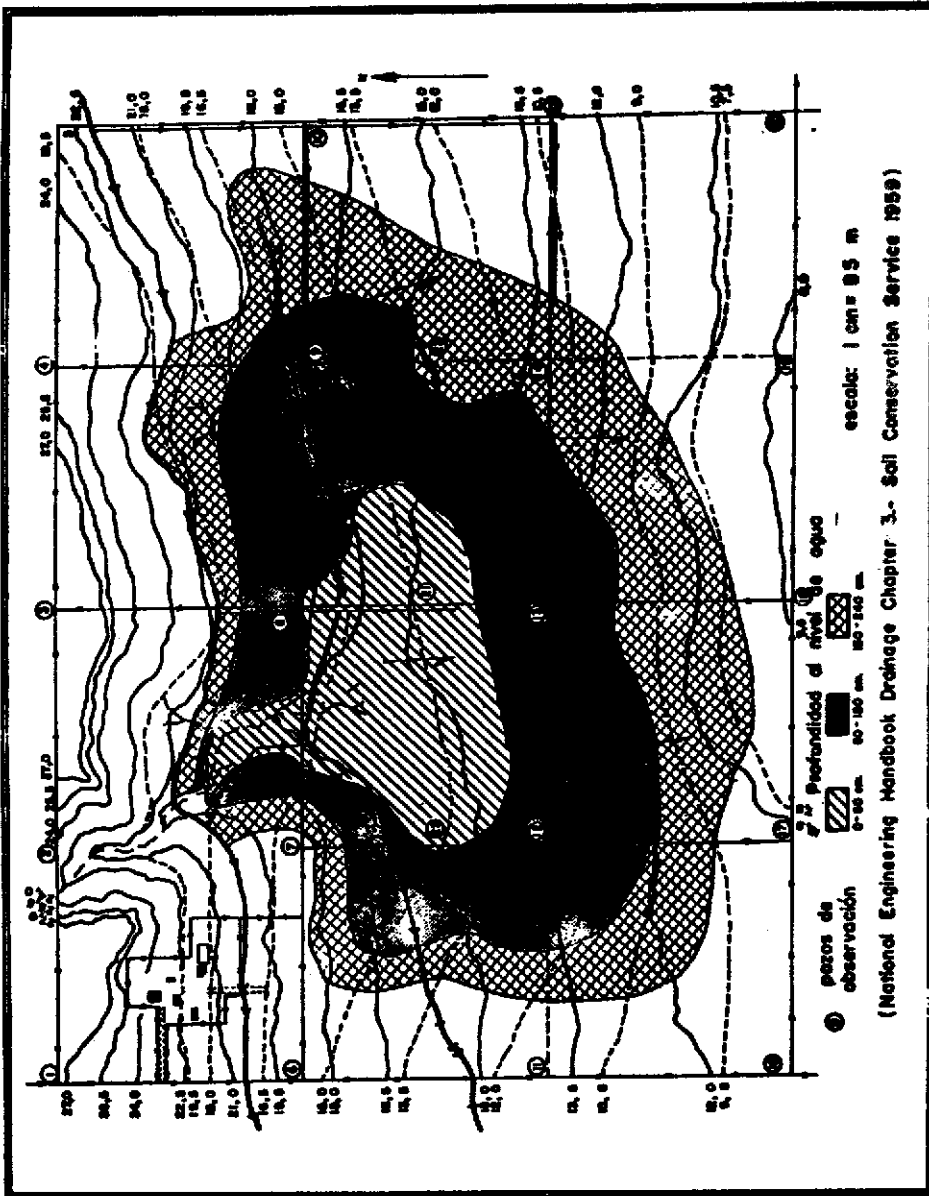
naje, ya que en base a este se harán los análisis agro-económicos y determinar la necesidad y factibilidad de la obra siendo el plano de trabajo de mayor importancia práctica.

#### Procedimiento para elaborar el plano

Con los datos leídos directamente en los pozos de observación, o por diferencia obtenidos al superponer el plano de curvas de nivel del terreno con el plano de curvas de nivel freático. En los puntos de cruce de ambas curvas, se anota directamente el valor de la diferencia. Luego trabajando solo con estas diferencias, por interpolación, se obtiene el plano de "isobatas".

Es conveniente trazar las isobatas seleccionando para cada pozo el valor mínimo de un período crítico.

El uso de colores para las diferentes subáreas o un rayado especial permite visualizar con más facilidad el problema.



## 2.7 Plano de profundidad al estrato impermeable o barrera

La barrera o estrato limitante del movimiento gravitacional del agua, se encuentra a veces a escasa profundidad, facilmente reconocible incluso en los planos de suelos.

Conviene adoptar criterios para definir la "barrera", Luthin considera que cuando la permeabilidad del subsuelo es aproximadamente  $1/10$  la del suelo superficial se puede considerar como impermeable.

El Bureau of reclamation considera un estrato como barrera si la conductividad hidráulica es menor que  $1/5$  de la conductividad hidráulica ponderada de los estratos por sobre el mismo.

El mapa o plano de profundidad a la barrera se prepara de la misma manera que el caso anterior, interpolando para trazar las isolíneas en base a los puntos ubicados en el mapa.

Si la barrera está próxima a la superficie y en general ha sido alcanzada en la mayor parte de los pozos de observación el número de datos disponibles para confeccionar este mapa es el mismo perfiles longitudinales y transversales.

Una vez determinada la profundidad de la barrera ya sea determinada en los pozos de observación o de abastecimiento de agua, se puede confeccionar un mapa de isolíneas o de curvas de nivel de la barrera el que permitirá sacar conclusiones. En primer término con relación a cada pozo la diferencia entre la cota del nivel freático y del nivel de la barrera,

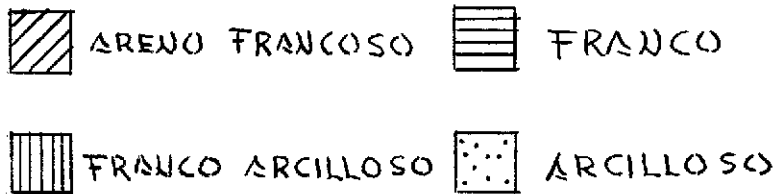
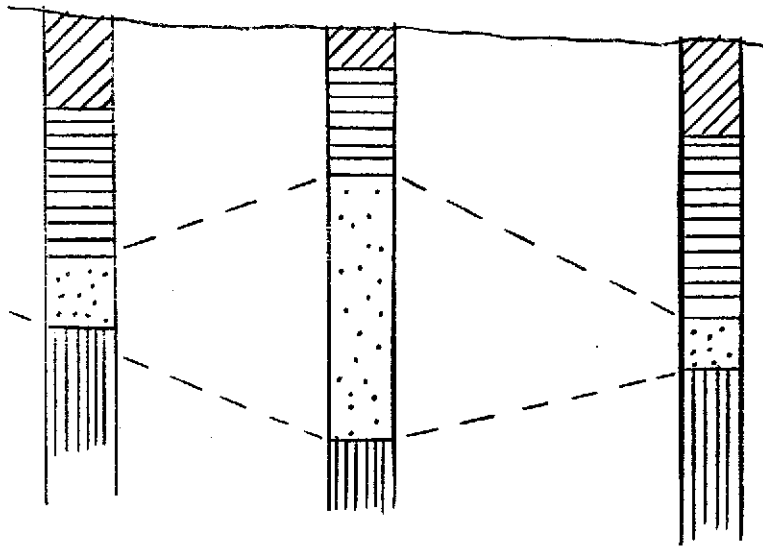


FIG 25

representa el espesor del estrato transmisor de agua; y de la misma manera como se obtuvo el mapa de "isobatas" se dibuja un plano del espesor del estrato transmisor de agua de gran utilidad práctica, ya que si se conoce el  $K$  ( $K$ -conductividad hidráulica) del estrato, el valor  $T$  ( $T$ -transmisibilidad) resulta definido, entonces los gradientes se obtienen del mapa de isohypsas y como consecuencia se puede calcular el caudal que entra y/o que sale del área.



## 2.8 Perfiles del nivel freático

Estos se confeccionan en la dirección del flujo, para tener idea de los gradientes disponibles y cambios a lo largo del mismo, sirve también para reconocer claramente las áreas de recarga y descarga y poder determinar la localización topográfica adecuada para los drenes interceptantes.

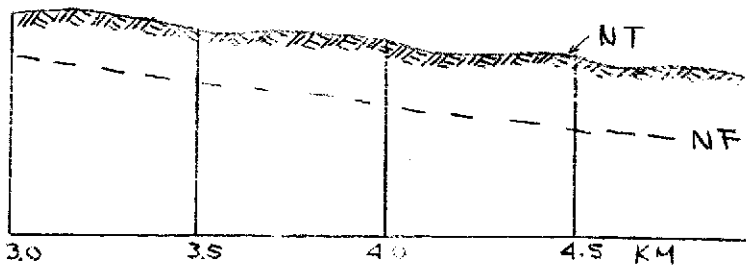


FIG. 2.6

## 2.9 Conductividad Hidráulica

Es uno de los factores que definen las condiciones hidrodinámicas de los suelos por lo que su determinación es muy importante.

Se identifica con el factor de proporcionalidad  $K$  de la ley de Darcy para el flujo de agua en el suelo

$$V = - Ki$$

donde:

$V$  = Velocidad del flujo ( $LT^{-1}$ )

$K$  = Conductividad Hidráulica ( $LT^{-1}$ )

$i = \frac{dh}{dt}$  Gradiente hidráulica (o dimensional)

El factor K es empleado para definir la conductividad hidráulica de un suelo saturado, es decir, bajo presión positiva del agua del suelo (debajo del nivel freático).

La conductividad hidráulica en condiciones no saturadas varía con la succión de humedad del suelo puesto que la succión, el contenido de humedad del suelo y la porosidad están íntimamente relacionados.

La conductividad hidráulica depende de las características del suelo (porosidad) y del agua (densidad y viscosidad). Esta relación se explica con la siguiente ecuación:

$$K = \frac{K'Pg}{n}$$

- K = conductividad hidráulica (LT<sup>-1</sup>)  
 K' = permeabilidad intrínseca que depende de las características del medio (L<sup>2</sup>)  
 P = densidad del líquido (agua) ML<sup>-3</sup>  
 g = aceleración de la gravedad (LT<sup>-2</sup>)  
 n = viscosidad dinámica Poiseo M (LT<sup>-1</sup>)

Cuando la conductividad hidráulica es igual en cualquier dirección se dice que el suelo es isotrópico. Esto sucede cuando la distribución de poros es uniforme en número y en diámetro.

Si la conductividad hidráulica es más grande en una dirección que en otra, se dice que el suelo es anisotrópico, fenómeno que se aprecia en suelos estratificados.

#### Determinación de K

La conductividad hidráulica K puede medirse

se sobre muestras de suelo en laboratorio o -- pruebas de campo.

El principio básico es producir una carga hidráulica que permita establecer ciertas condiciones de flujo. Los métodos de campo son - usados para medir K sobre suelos saturados y - no saturados, debajo y sobre la tabla de agua.

En suelos saturados se puede usar los métodos del agujero de barrena y en suelos no - saturados agujero de la barrena invertida.

#### 2.9.A Método del agujero de barrena (Auger Hole)

El método del agujero de barrena es aplicable a medidas de conductividad hidráulica en el campo por debajo de la tabla de agua.

El principio general consiste en perforar un pozo en el suelo , basta una cierta profundidad por debajo de la napa freática. Se deja que el agua en el pozo alcance el nivel de -- equilibrio con la napa freática. Cuando el -- equilibrio es alcanzado, una parte del agua -- del pozo es retirada con un Bailer o con una - bomba chica, consecuentemente el agua se infiltra dentro del pozo otra vez. La velocidad a la cual el agua se eleva en el agujero es medida con un flotador al cual se le ha acoplado - una cinta graduada.

La conductividad del suelo se calcula, de la velocidad de elevación del agua, por medio de una fórmula adecuada. Este método determina el promedio de conductividad hidráulica -- equivalente al de una columna de suelo de cerca de 30 cms. de radio, extendiéndose desde la napa freática hasta unos pocos decímetros por

debajo del fondo del pozo o al estrato impermeable, si es que este se presenta dentro del alcance de la perforación.

En un perfil homogéneo una adecuada profundidad será cerca de 60 a 70 cms. por debajo de la napa freática; excepto en suelos muy permeables.

La medida de la velocidad de elevación -- del nivel de agua debe comenzar inmediatamente después de la extracción del agua. Ambos, el tiempo para intervalos fijos de elevación o la elevación para intervalos fijos de tiempo, pueden ser tomados. El primer método requiere el uso de un cronómetro, el segundo método se puede realizar con un reloj con buen segundero. Normalmente se toman cinco lecturas para conseguir un buen valor promedio de la velocidad de elevación y para reducir los efectos de posibles irregularidades.

El intervalo de tiempo al cual las lecturas del nivel de agua son tomadas, dependen de la permeabilidad del suelo y es frecuente usar de 5 a 30 seg. correspondiendo a la velocidad de elevación del nivel de agua valores de 0.5 a 1 cms. aproximadamente.

Como guía general se puede obtener la velocidad de elevación del nivel de agua en --- mm/seg. en un agujero de 8 cms. de diámetro a una profundidad de 70 cms. por debajo de la tabla de agua lo que aproximadamente nos dará un valor de K en mm/día.

Hay que ser cuidadosos en tomar las medidas antes de que el 25% de agua extraída haya vuelto a fluir dentro del pozo, tratando de -- que la medida sea completa antes de que  $\Delta \gamma > \frac{1}{4} \gamma_0$

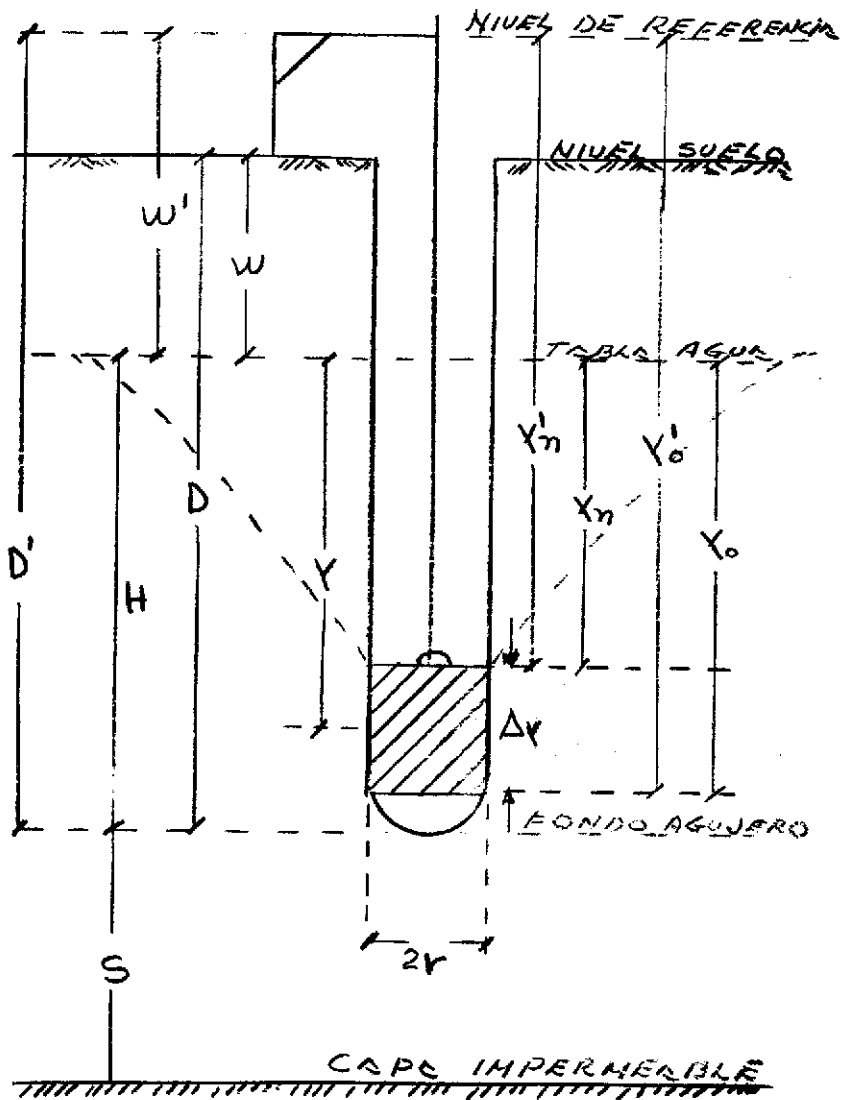


FIG 2.7

La conductividad hidráulica  $K$  es calculada de la velocidad de elevación ( $\Delta Y/\Delta T$ ) con las siguientes fórmulas:

a) Cuando  $S \geq \frac{1}{2}H$

$$K = \frac{4000 r^2}{(H+20r) \left(2 - \frac{Y}{H}\right) Y} \frac{\Delta Y}{\Delta T}$$

b) Cuando  $S = 0$   $K = \frac{3600 r^2}{(H+10r) \left(2 - \frac{Y}{H}\right) Y} \frac{\Delta Y}{\Delta T}$

En los cuales, Fig. 2.7

$K$  = Conductividad hidráulica ( $LT^{-1}$ )

$\frac{\Delta Y}{\Delta T}$  = Velocidad de elevación del nivel de agua en el agujero de barrena ( $LT^{-1}$ )

$H$  = Profundidad del pozo bajo la napa freática (L)

$Y$  = Distancia entre la napa freática y el nivel promedio en el pozo durante el tiempo  $\Delta T$  (L)

$r$  = Radio del pozo

$S$  = Profundidad de la capa impermeable bajo el fondo del pozo (L)

$y$  = Recuperación del nivel en el pozo en el tiempo  $t$  (L)

$t$  = Tiempo para la recuperación de una parte del nivel en el pozo (T)

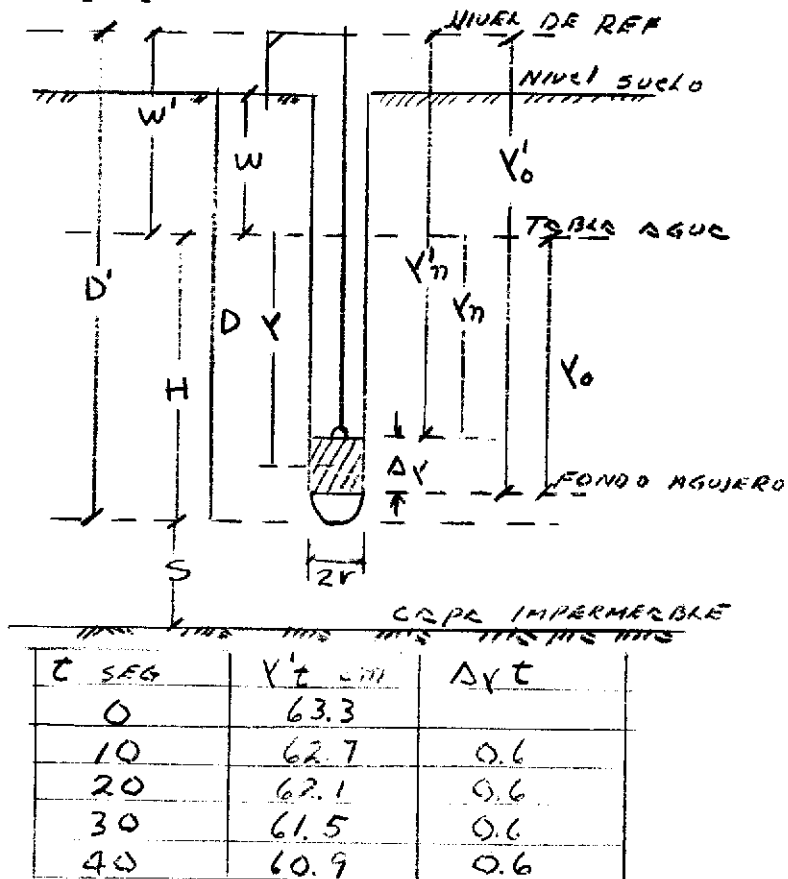
$Y_0$  = Distancia desde la napa freática hasta la superficie del agua con el pozo luego de ser deprimida la napa (L)

$Y_n$  = Distancia desde la napa freática hasta la superficie del agua en el pozo al final de la medición (L)

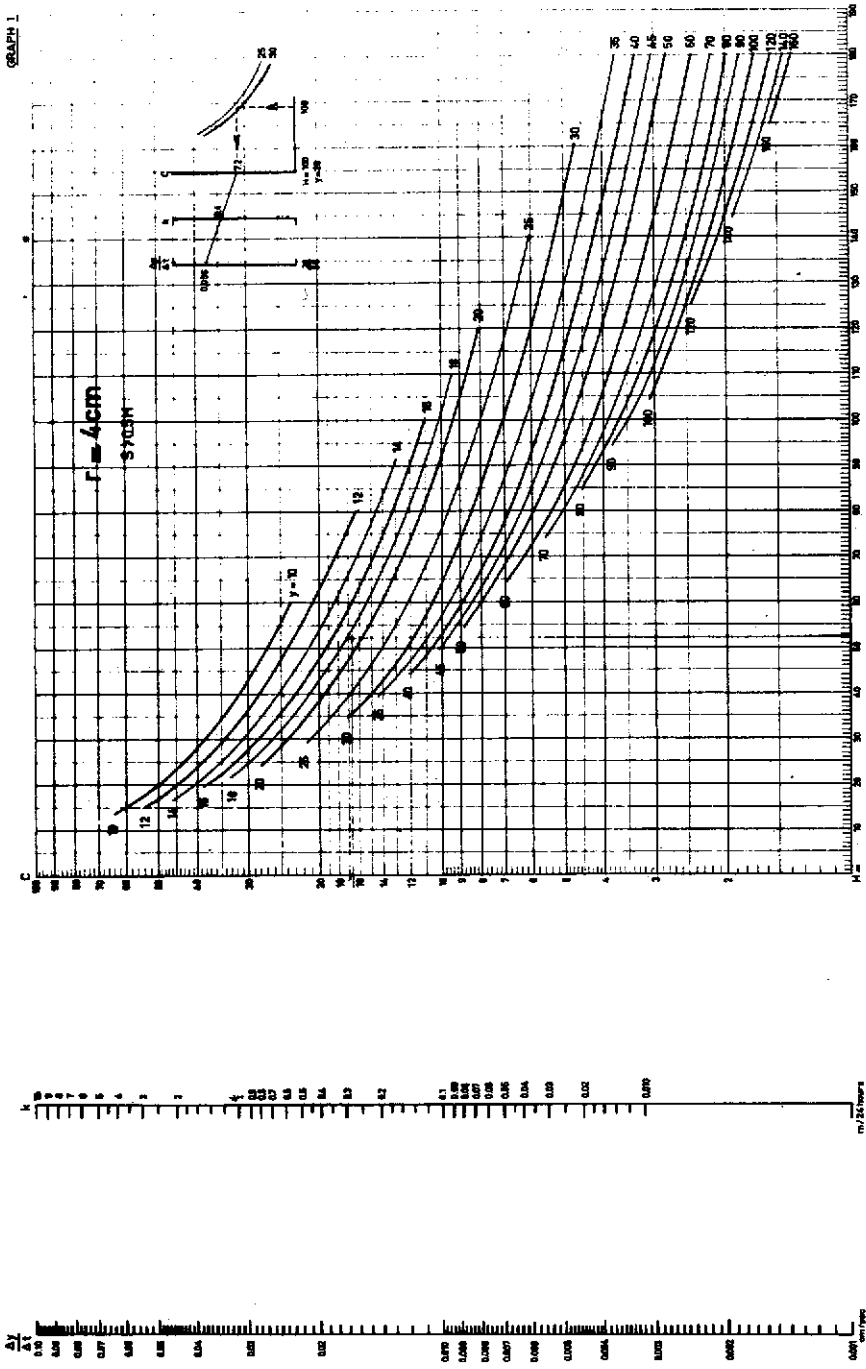
También se cuenta con nomogramos de acuerdo a la profundidad a la que se encuentre el estrato impermeable.

Ejemplo:

Para una mejor ilustración del cálculo de la conductividad hidráulica, se incluye una hoja del campo para calcular.



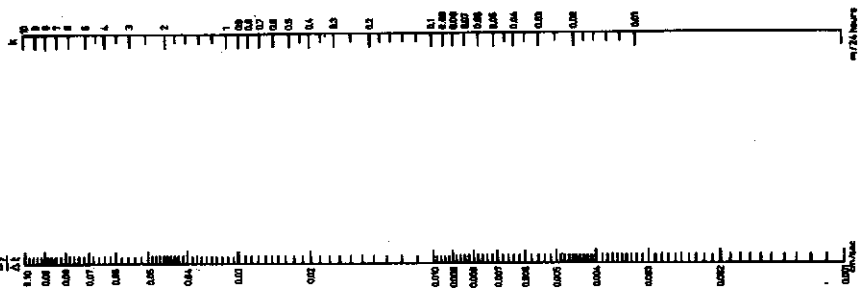
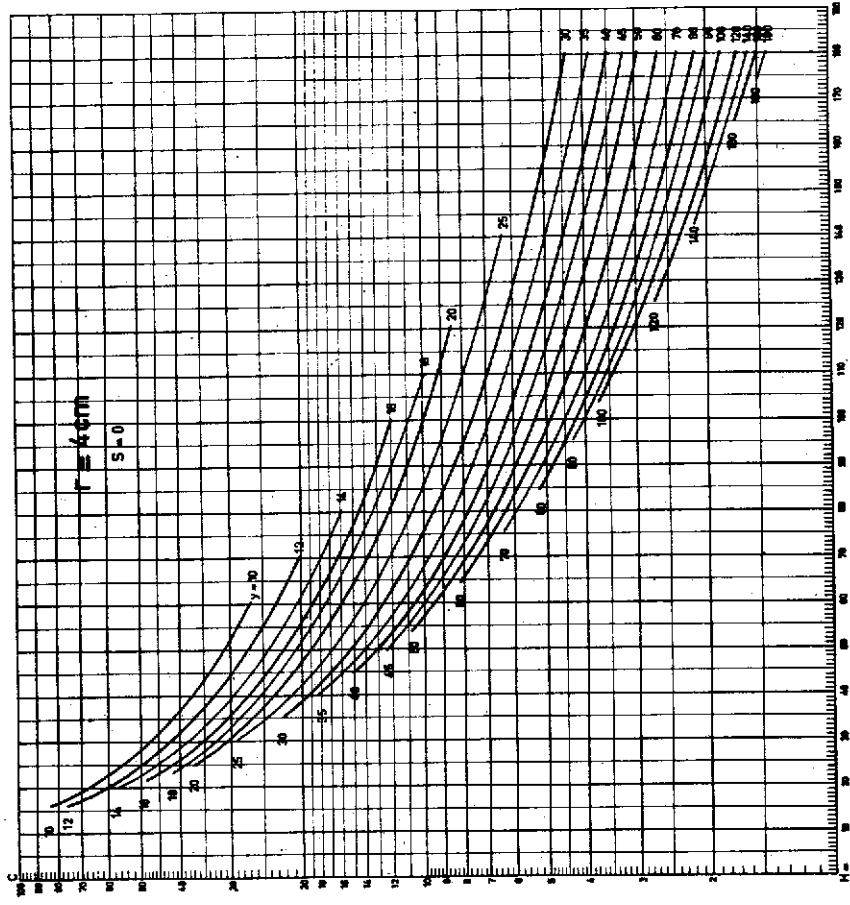
GRAPH 1



Bulletin No 1 THE AUGER HOLE METHOD;  
International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands, 1958.



GRAPH 2



Bulletin No 1 THE AUGER HOLE METHOD:  
International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands, 1958.

## CALCULO DE CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA

LOCALIDAD \_\_\_\_\_ OPERADOR \_\_\_\_\_

FECHA \_\_\_\_\_ APUNTAADOR \_\_\_\_\_

POZO No. \_\_\_\_\_ CONTROLADOR \_\_\_\_\_

REF SOBRE PISO 30 cms  $r = 4$  cms

$D = 66$  cms

$D' = 96$  cms

$W = 13.5$  cms

$W' = 43.5$  cms

$H = D - W = 66 - 13.5 = 52.5$  cms

$S > 0.5 H$

$\gamma_0 = \gamma_0' - W' = 63.3 - 43.5 = 19.8$  cms

$\Delta\gamma = \gamma_0' - \gamma_n' = \Sigma \Delta\gamma T = 63.3 - 60.9 = 2.4$  cms

$\gamma = \gamma_0 - 0.5\Delta\gamma = 19.8 - 1.2 = 18.6$  cms

$\Delta T = 40$  SEG

$\frac{\Delta\gamma}{\Delta T} = \frac{2.4}{40} = 0.06$

POR NOMOGRAMA  $\left\{ \begin{array}{l} r = 4 \text{ cms} \\ S > 0.5 H \end{array} \right.$

$K \text{ NOS DA} = 1.0 \text{ m/dia}$

### 3. MOVIMIENTO DEL AGUA HACIA EL DRENAJE

Es importante determinar el movimiento -- del agua hacia el dren para diseñar un sistema de drenaje.

El análisis nos ofrece conocimientos para determinar la magnitud de las obras a ejecutar y por ende a calcular sus costos.

De la estimación de las llamadas ecuaciones de drenaje obtendremos datos de gran interés práctico como lo son el espaciamiento y -- profundidad de los drenes.

En base al régimen de recarga de los acuíferos por los excesos de agua se pueden dividir en a) de flujo establecido o permanente y b) flujo no permanente.

En el caso a no varía sustancialmente con el tiempo. Es el caso dado en zonas húmedas, -- donde se considera que el exceso de agua por -- lluvias se da en un número elevado de días y se reparte regularmente durante los meses o es tación lluviosa.

En condiciones de flujo permanente, se -- llega a un equilibrio, saliendo por el sistema la misma cantidad de agua que ingresa al mismo.

Por lo tanto, la curva que separa la zona de aereación de la de saturación permanece es tacionaria.

Por no haber regularidad en las precipitaciones esto no es rigurosamente exacto. Pero la suposición ha demostrado su aceptabilidad -- en la práctica y simplifica el análisis.

En el caso del flujo no permanente, la recarga se produce en un período breve y seguidamente transcurre un largo período hasta que ocurre otra, esto es lo que ocurre en tierras áridas bajo riego, donde la fuente de exceso de agua depende solo de la aplicación de agua al cultivo en cada turno de riego.

El suelo se considera entonces como un reservorio que se llena en pocas horas y se vacía en varios días.

Los dos casos anteriores se pueden dividir de acuerdo a las características del flujo en horizontal o radial.

Un dren crea un centro de baja presión -- que origina un flujo hacia el mismo, por lo -- que la curva que separa el suelo saturado del no saturado se denomina curva de abatimiento y la cual tiene forma elíptica.

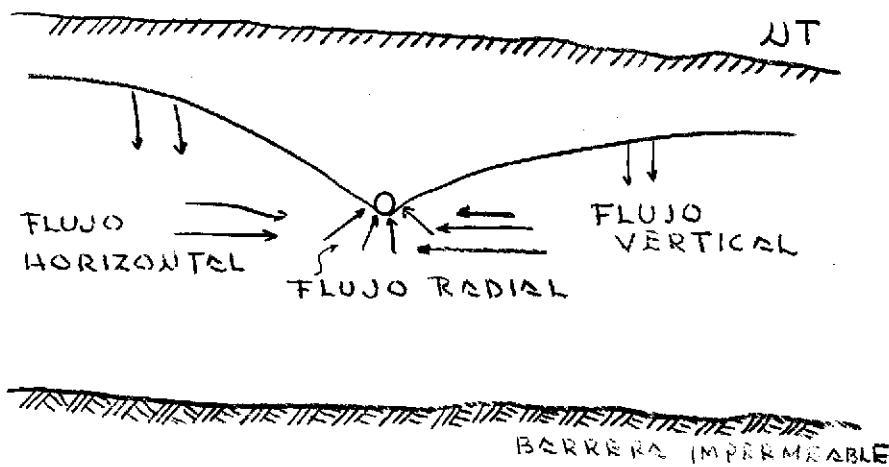


FIG 3.1

En tal situación, si el exceso de agua se localiza en la capa superficial, primero se produce un flujo vertical descendente, luego horizontal y finalmente un flujo radial hacia el dren.

Las ecuaciones de drenaje, intentan para determinado coeficiente de drenaje ( $cd$ ) conductividad hidráulica  $K$  y profundidad de los drenes ( $H$ ) resolver:

1. El espaciamiento de los drenes, para mantener la curva de abatimiento a una profundidad preestablecida (flujo permanente) o para lograr en la misma un determinado descenso en un tiempo dado (flujo no permanente).
2. La posición de la curva de abatimiento - (flujo permanente), o la magnitud de su descenso en un tiempo dado (flujo no permanente) cuando los drenes están instalados con determinado espaciamiento.

Los valores de  $K$  y  $cd$  son datos fijos del problema.  $H$  en cambio es la máxima profundidad posible que está condicionada a las características del perfil del suelo y aspectos constructivos.

Teniendo en cuenta que la carga es la distancia media entre dos drenes, con relación a la superficie libre de agua en el dren, se invierte en las pérdidas de carga por flujo vertical ( $h_v$ ), horizontal ( $h_h$ ) y por flujo radial ( $h_r$ ).

$$H = h_v + h_h + h_r$$

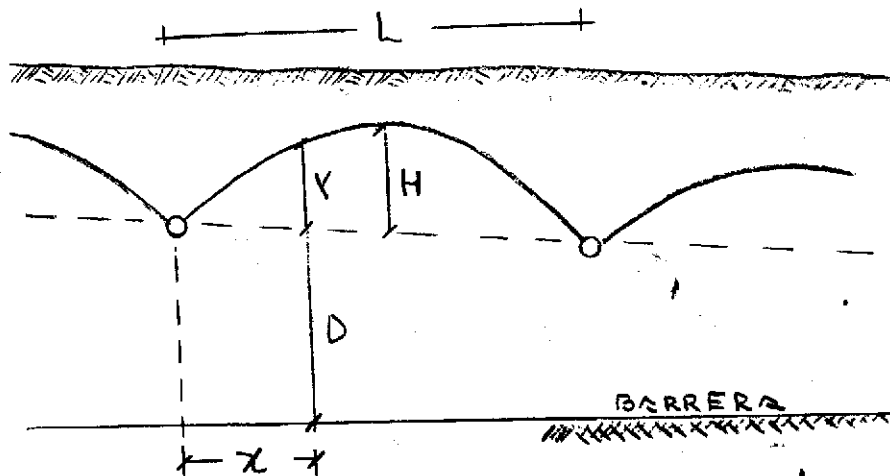


FIG 3.2

### Caso No.1 Flujo Permanente

Si la barrera se localiza a escasa profundidad (menos de 5 mts.) de la superficie el error que se comete no es importante si se trata el caso como flujo horizontal.

#### 3.1 Derivación de la Ecuación

Se parte de que el caudal  $q_x$  pasa a través de un plano vertical imaginario, ubicado a una distancia  $x$  a partir del eje del dren, es el exceso de agua producido a la derecha de dicho plano hasta la distancia media entre los drenes (Fig. 3.2).

Por lo tanto, si  $Q$  es el caudal de drenaje colectado en la longitud  $L$  de espaciamiento entre los drenes, entonces:

$$q_x = \frac{Q}{L} \left( \frac{L}{2} - x \right) = (1)$$

de acuerdo a la ecuación de Darcy:

$$q_x = K (D + y) \frac{dy}{dx} = \quad (2)$$

Igualando la (1) y la (2)

$$\frac{Q}{L} \left( \frac{L}{2} - x \right) = K (D + y) \frac{dy}{dx}$$

$$\frac{Q}{2} - \frac{Qx}{L} = K (D + y) \frac{dy}{dx}$$

$$Q \left( \frac{1}{2} - \frac{x}{L} \right) = K(D + y) \frac{dy}{dx}$$

Separando variables e integrando entre los límites:

$$x_1, \quad x_2, \quad y_1, \quad y_2$$

$$Q \int_{x_2}^{x_1} \left( \frac{1}{2} - \frac{x}{L} \right) dx = K \int_{y_2}^{y_1} (D + y) dy$$

$$\frac{Q(x_2 - x_1)}{2} - \frac{Q(x_2^2 - x_1^2)}{2L} = KD (y_2 - y_1) + \frac{K(y_2^2 - y_1^2)}{2}$$

También:

$$Q \left[ (x_2 - x_1) - \frac{(x_2^2 - x_1^2)}{L} \right] = K \left[ 2D(y_2 - y_1) + (y_2^2 - y_1^2) \right] \quad (3)$$

De acuerdo a la fig. 3.2

$$x_1 = 0 \quad x_2 = L/2 \quad y_1 = 0 \quad y_2 = H$$

Por lo tanto:

$$Q = \frac{4KH (2D + H)}{L} \quad (4)$$

De donde:

$$L = \frac{4KH (2D + H)}{Q} \quad (5)$$

El coeficiente de drenaje  $cd$  tiene dimensión de velocidad ( $L/T$ ), y  $Q$  se expresa por -- unidad de longitud del dren. Entonces:

$$\begin{aligned} Q &= cd \cdot L \\ cd &= q \end{aligned} \quad (6)$$

Reemplazando  $Q$  de la (6) en la (4):

$$L = \sqrt{\frac{4KH (2D + H)}{cd}} \quad (7)$$

$$cd = 2 \text{ a } 3 \text{ mm/día} = 20 \text{ a } 30 \text{ m}^3/\text{día}/\text{Ha}$$

## Caso 2

Cuando la barrera se localiza a profundidad mayor de 5 mts. el flujo radial no puede desconocerse.

## Método de Hooghoudt

Hooghoudt desarrolló procedimientos basados en la ecuación de la elipse.

Para el caso de suelo heterogéneo y para un dren que desde el punto de vista práctico, se considera sin agua, Hooghoudt presenta la ecuación para flujo horizontal de la siguiente forma:



$$L^2 = \frac{8K_1 DH}{cd} + \frac{4K_2 H^2}{cd} \quad (8)$$

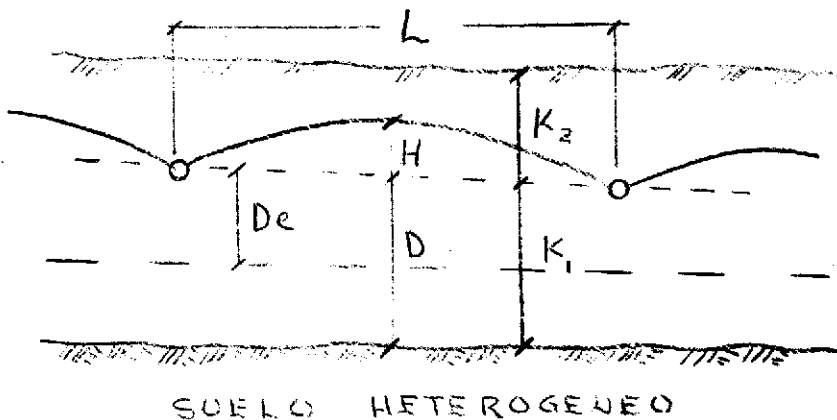


FIG 3.3

el primer término comprende el flujo a través del estrato transmisor de conductividad hidráulica  $K_1$ , por debajo del dren, el segundo término al estrato de conductividad hidráulica  $K_2$ , por encima del dren.

Para su derivación se sigue el procedimiento expuesto caso 1, pero tratando separadamente el espesor del estrato debajo del dren, de la capa por sobre el mismo.

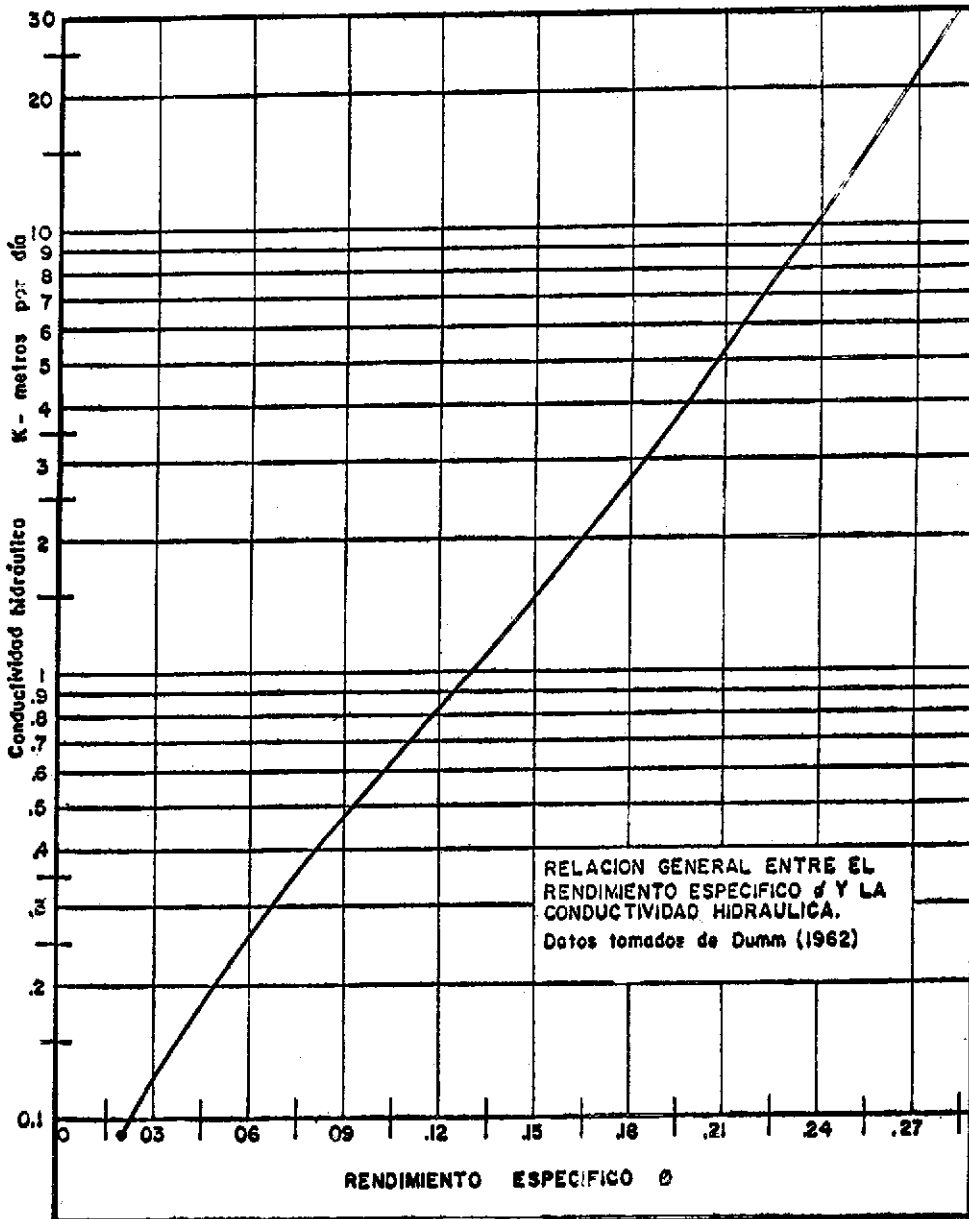
De la ecuación (8) pueden obtenerse varias conclusiones:

- a) Si el suelo es homogéneo, o sea si  $K_1=K_2$ , entonces la ecuación (8) es la misma que la (7).
- b) Si el valor de  $H$  es mínimo con respecto a  $D$  el segundo término de la ecuación puede desprejarse.

Tabla .1.

PROFUNDIDADES EQUIVALENTES D<sub>e</sub> PARA DIFERENTES VALORES DE D, según HOOGHOUTD (1940)

L →	5m	7.5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	50 L →	75	100	150	200	250
0.5 m	0.47	0.48	0.49	0.49	0.49	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
0.75	0.60	0.63	0.69	0.71	0.73	0.74	0.75	0.75	0.75	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76
1.00	0.67	0.75	0.80	0.86	0.89	0.91	0.93	0.94	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
1.25	0.70	0.82	0.89	1.00	1.05	1.09	1.12	1.13	1.14	1.14	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
1.50	0.88	0.97	1.11	1.19	1.25	1.28	1.31	1.34	1.35	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36
1.75	0.91	1.02	1.20	1.30	1.39	1.45	1.49	1.52	1.55	1.57	1.57	1.57	1.57	1.57	1.57	1.57	1.57
2.00	1.09	1.28	1.41	1.5	1.57	1.69	1.76	1.81	1.84	1.86	1.86	1.86	1.86	1.86	1.86	1.86	1.86
2.25	1.13	1.34	1.50	1.69	1.79	1.87	1.94	1.99	2.02	2.02	2.02	2.02	2.02	2.02	2.02	2.02	2.02
2.50	1.38	1.57	1.69	1.79	1.88	1.98	2.05	2.12	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18
2.75	1.42	1.63	1.76	1.88	1.97	2.08	2.16	2.23	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29
3.00	1.45	1.67	1.83	1.97	2.04	2.16	2.26	2.35	2.42	2.42	2.42	2.42	2.42	2.42	2.42	2.42	2.42
3.25	1.48	1.71	1.88	2.04	2.16	2.26	2.35	2.42	2.42	2.42	2.42	2.42	2.42	2.42	2.42	2.42	2.42
3.50	1.50	1.75	1.93	2.11	2.24	2.35	2.45	2.54	2.54	2.54	2.54	2.54	2.54	2.54	2.54	2.54	2.54
3.75	1.52	1.78	1.97	2.17	2.31	2.44	2.54	2.64	2.64	2.64	2.64	2.64	2.64	2.64	2.64	2.64	2.64
4.00	1.81	2.02	2.22	2.37	2.51	2.62	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71
4.50	1.85	2.08	2.31	2.50	2.63	2.76	2.87	2.87	2.87	2.87	2.87	2.87	2.87	2.87	2.87	2.87	2.87
5.00	1.88	2.15	2.38	2.58	2.75	2.89	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02
5.50	2.20	2.43	2.65	2.84	3.00	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15
6.00	2.48	2.77	2.92	3.09	3.26	3.26	3.26	3.26	3.26	3.26	3.26	3.26	3.26	3.26	3.26	3.26	3.26
7.00	2.54	2.81	3.03	3.24	3.43	3.43	3.43	3.43	3.43	3.43	3.43	3.43	3.43	3.43	3.43	3.43	3.43
8.00	2.57	2.85	3.13	3.35	3.56	3.56	3.56	3.56	3.56	3.56	3.56	3.56	3.56	3.56	3.56	3.56	3.56
9.00	2.89	3.18	3.43	3.66	3.66	3.66	3.66	3.66	3.66	3.66	3.66	3.66	3.66	3.66	3.66	3.66	3.66
10.00	3.74	3.23	3.43	3.74	3.74	3.74	3.74	3.74	3.74	3.74	3.74	3.74	3.74	3.74	3.74	3.74	3.74
10.00	0.71	0.88	1.14	1.50	1.89	2.24	2.58	2.91	3.24	3.56	3.88	3.88	5.38	6.82	9.55	12.2	14.7



- c) Si contrariamente  $D = 0$ , o sea en los drenes se apoyan sobre la barrera, el primer término no interviene.

La más importante contribución de Hooghoudt, es haber dado solución a este caso como flujo horizontal y radial a la vez.

Para ello considera que el flujo radial se produce en una distancia de  $X_1 = 0.7 D$ . (siendo  $D$  la distancia desde el eje horizontal del dren a la barrera) y el flujo horizontal desde la línea media entre dos drenes hasta el límite anterior.

Después de comparar los resultados de la ecuación de flujo horizontal con los que resultan de su tratamiento como flujo radial Hoodhoudt desarrolló un procedimiento simplificado que consiste en el empleo de la ecuación (8) pero con la profundidad equivalente.

"De" en lugar de la  $D$ ., estas se obtienen directamente con tablas ya tabuladas, una de las cuales se presenta a continuación como tabla número 1.

Como los valores de  $De$  están dados también en función de  $L$ , cuando se calcula el espaciamiento con esta fórmula debe procederse "por tanteo".

El valor de "De" puede a su vez calcularse mediante la siguiente ecuación aproximada:

$$De = \frac{D}{2.5 \frac{D}{L} \ln \left( \frac{D}{h r} \right) + 1} \quad (9)$$

### Caudal no permanente

Para la solución de este caso, los datos requeridos difieren algo con relación al de -- caudal permanente. En lugar del coeficiente -- de drenaje (cd), se necesita el intervalo de -- tiempo  $t$ , para hacer descender el nivel freático de  $H$  a  $H_t$ , en un estrato que tiene una porosidad drenable  $\phi$ . Además, se requiere conocer el valor de  $K$  la conductividad hidráulica ( $K$ ) y el espesor promedio del estrato transmisor -- de agua hacia el dren  $D_o$ .

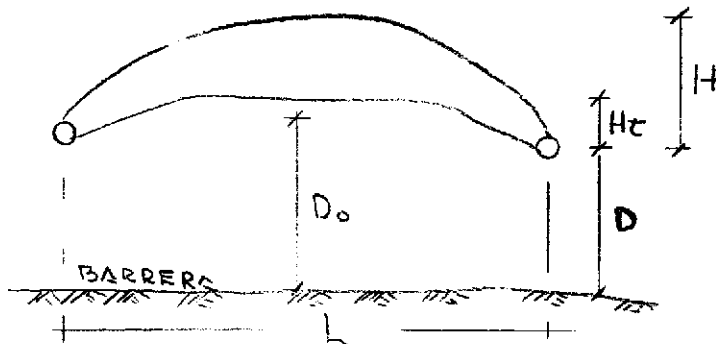


FIG 3.4

Dado que en este procedimiento intervienen  $K$  y  $\phi$  DUMM (1962) ha obtenido empíricamente la curva que representa la relación entre -- ambos parámetros. Christiansen (1967) ha representado dicha relación en escala semi-logarítmica para  $K$  en m/día, obteniendo una relación casi lineal, fig.

La fórmula de Dumm:

$$L^2 = \frac{10 K D t}{\ln (1,16 H/H_t)}$$

nos da el espaciamiento para que con un estrato

transmisor de agua de determinado espesor y características, el nivel freático descienda de ~~H<sub>0</sub>~~ H<sub>1</sub>, en un intervalo de "t" días, que corresponde al lapso entre dos períodos de recarga.

### 3.2 Ejemplo de aplicación

Calcular la separación entre drenes necesarios para abatir el nivel freático a 1.50 mts. de profundidad, para un suelo que en la actualidad tiene a 0.50 mts. el nivel freático, la profundidad de la capa impermeable es de 4 mts.

El sistema tiene que ser diseñado en tal forma que incremente el nivel freático en 1 mm/día, no debe elevarse a un nivel superior a 1.50 mts. por debajo de la superficie. De acuerdo a la maquinaria la descarga del dren se va a construir a 2.2 mts. de profundidad.

La profundidad del primer estrato se localiza a 128. El ancho del dren 0.40 mts. y los tubos utilizados son de barro 4"

Usando fórmula de Donnan.

$$q = 1 \text{ mm/día}$$

$$K_1 = 1.4 \text{ m/día (conductividad del estrato)}$$

$$K_2 = 2.2 \text{ m/día}$$

$$DU_1 = 128 - 50 = 78$$

$$DV_2 = 400 - 128 = 272$$

$$K = \frac{DU_1 \times K_1 + DV_2 \times K_2}{DU_1 + DV_2}$$

$$\bar{K} = \frac{0.78 \times 1.4 + 2.72 \times 2.2}{78 + 272}$$

$$K = \frac{7.08}{350} = 2.02 \text{ m/día}$$

$$L^2 = \frac{4 \times 2.02 \left( \frac{2.50^2}{200} - \frac{200^2}{200} \right)}{0.001}$$

$$L = 135 \text{ mts.}$$

Por fórmula de Hooghoudt

$$L^2 = \frac{8 K_2 D_0 h}{q} + \frac{4 K_1 h^2}{q}$$

$$L^2 = \frac{8 \times 2.2 \times 0.5}{0.001} + \frac{4 \times 1.4 \times 0.5^{-2}}{0.001}$$

$$L^2 = 19001 \quad L = 138 \text{ mts.}$$

#### 4. SISTEMAS DE DRENAJE

Los drenajes son obras construídas con el fin de evacuar artificialmente los excedentes de agua, contrarrestando todos los efectos nocivos producidos.

Los drenajes se clasifican según su forma como:

##### Libre o natural:

El cual consiste en unir únicamente las zonas húmedas aprovechando las depresiones naturales del terreno.

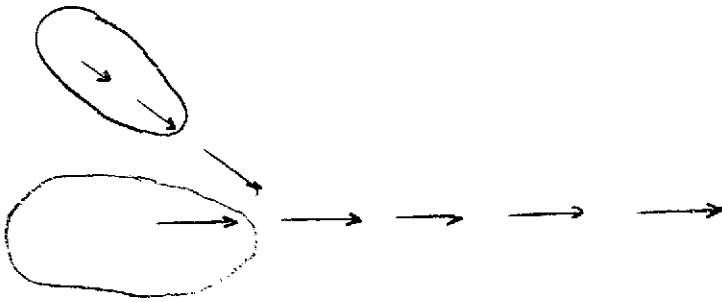


FIG 4.1

##### Espina de Pez:

Consiste en localizar un colector en la parte central, al cual se une una serie de drenes transversales que cubren toda la zona afectada. Es el utilizado en depresiones largas.

##### Emparrillado o paralelo:

Consta de un colector en uno de los extremos del área afectada y una serie de drenes se



cundarios situados transversalmente.

Este sistema presenta la ventaja de que facilita la comunicación entre parcelas.

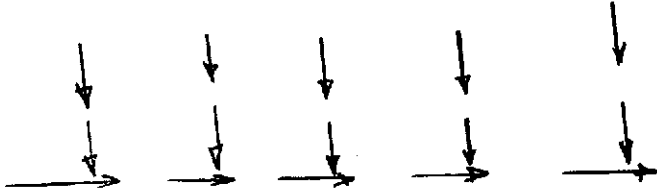


FIG 4.2

Doble Principal:

Consiste en un colector a cada una de las cuencas.

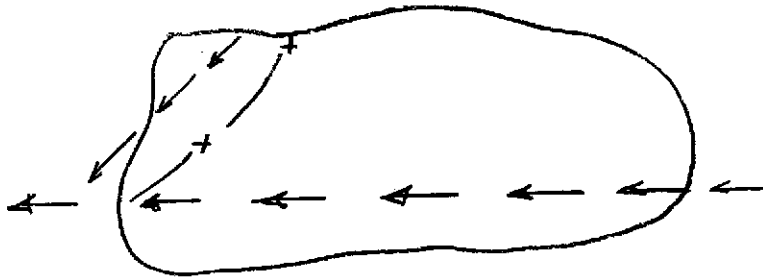


FIG 4.3

### Drenaje Interceptor

Este sistema se utiliza para captar las corrientes que bajan de las zonas altas, se lo caliza en dirección normal al flujo

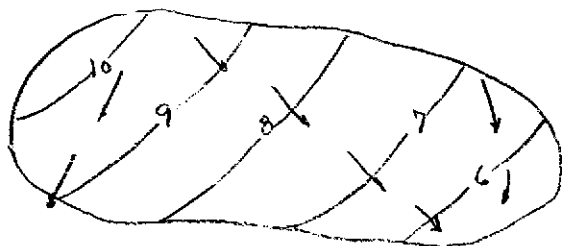


FIG 4.4

### Drenaje de alivio

Es el que se encuentra localizado en dirección al flujo y tiene como finalidad facilitar la salida de las aguas que se encuentran de paso o dar salida a aquellas que se encuentran en cuencas cerradas.

Todos los sistemas descritos pueden construirse de dos maneras:

Superficialmente desalojando las aguas que escurren libremente sobre la superficie del suelo.

Subterráneamente el cual desaloja las -- aguas que se encuentran abajo de la superficie del suelo.

En terrenos arenosos, en los cuales la es

correntia superficial es generalmente reducida y la estabilidad del suelo es débil, se decide a favor de drenes colectores entubados.

Al contrario en terrenos con suelos pesados, la preferencia va a drenes abiertos, especialmente para los colectores.

En general se puede concluir que cuanto más pequeño el espaciamiento y el área drenada por un dren, mayor razón para decidir por un dren entubado y al contrario cuanto más grande el área drenada por un dren, mayor razón para construir un dren abierto.

La decisión sobre el uso de uno u otro depende de las condiciones locales, disponibilidad de materiales, equipo, mano de obra y capital.

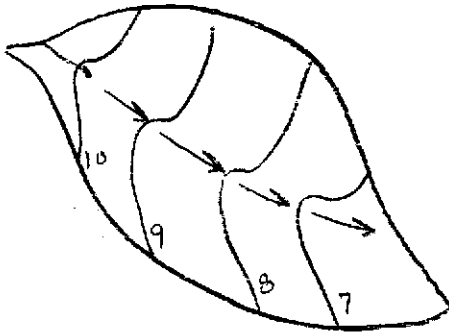


FIG 4.5

## 5. DISEÑO DE DRENES ABIERTOS

Los factores más importantes en la ubicación de drenes abiertos son el espaciamiento, la topografía y la infraestructura existentes.

En la práctica los espaciamientos teóricos calculados necesitan a menudo una adaptación a la realidad del terreno.

Debiéndose considerar límites naturales, caminos existentes, forma de la propiedad, construcciones existentes, irregularidades del terreno, sistema de riego, etc.

Por razones topográficas se pueden seguir las siguientes recomendaciones:

- a) Los drenes de primer orden o sean principales se ubican siempre en las partes más bajas del terreno con la pendiente máxima no erosiva permisible, de esta manera se garantiza la salida libre por gravedad de sus drenes laterales de segundo o tercer grado.

Por ser drenes troncales llevan gran cantidad de agua y consecuentemente un mayor gradiente permite un menor dimensionamiento, por lo general los drenes troncales siguen el curso de drenes naturales existentes.

El punto de salida del dren principal al mar o algún río debe tratarse sea por gravedad para evitar bombeo

Los gradientes de los drenes colectores generalmente varían entre la máxima que permite el terreno, siempre que no sean -

erosivos y la mínima que permite la gradiente hidráulica requerida.

Esquema de 2 casos de drenaje que se pueden considerar como extremos.

La realidad topográfica generalmente no es tan simple y consecuentemente la adaptación del sistema presenta normalmente soluciones intermedias.

Fig. No. 5.1 Ejemplo de drenaje

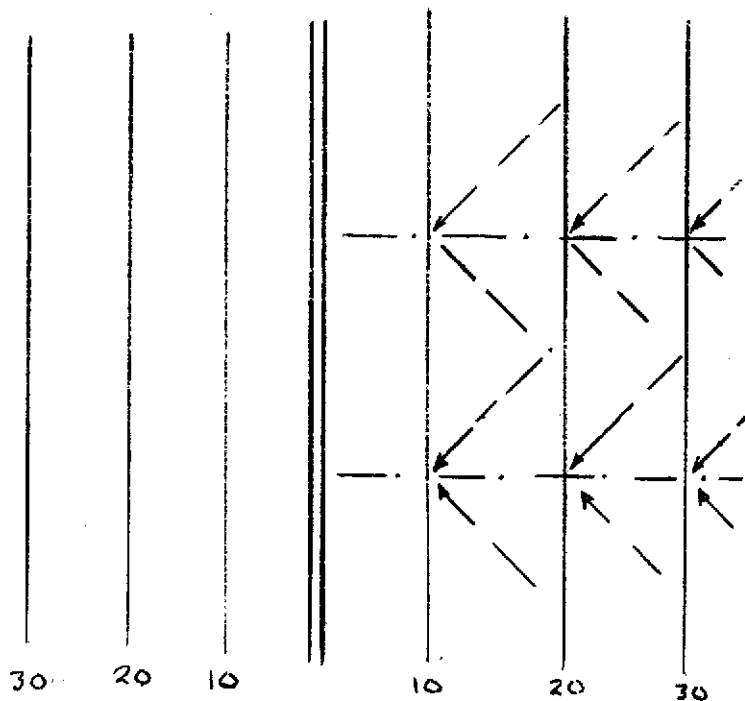
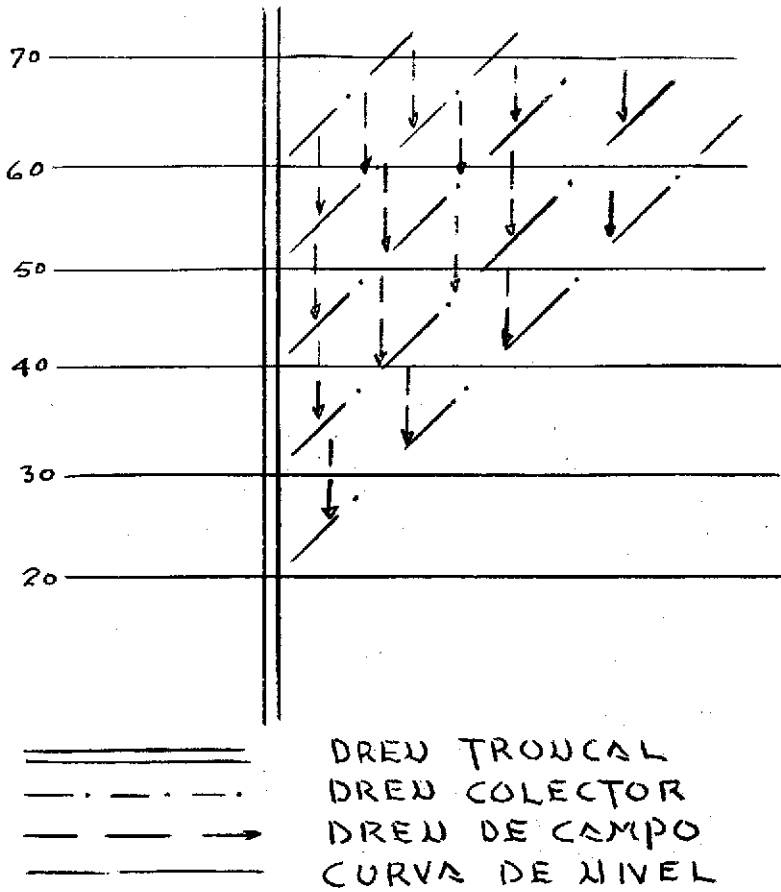


Fig. No. 5.2



La figura 5.1 describe que el dren troncal está ubicado en la parte más baja del terreno. Los drenes colectores van perpendicularmente a las curvas de nivel y al dren troncal.

Los drenes de campo forman ciertos ángulos con las curvas de nivel y los colectores. Esto

es necesario para poder instalar los drenes de campo paralelos a la superficie del terreno y con una cierta gradiente a la vez. Los drenes de campo entran en los colectores por ambos lados. El espaciamiento de los colectores es ligeramente mayor que el doble de la longitud de los drenes de campo.

La figura 5.2 muestra que el dren troncal sigue la pendiente máxima del terreno. Los drenes colectores forman un cierto ángulo con las curvas de nivel y el dren troncal para asegurar una cierta gradiente.

Los drenes de campo pueden ser paralelos al dren troncal o perpendiculares al dren colector o tener una dirección intermedia. Estos drenes entran en los colectores solamente por un lado. El espaciamiento de los colectores es aproximadamente igual a la longitud del dren de campo.

Para diseñar la ubicación de drenes se necesita la siguiente información:

- a) Planos topográficos
- b) Planos catastrales
- c) Planos de infraestructura
- e) Plano de suelo
- f) Plano de espaciamiento de drenes de campo

En el plano de ubicación de drenes se traza el curso del futuro dren con líneas rectas. La ubicación de los vértices debe ser bien definido en el terreno mediante coordenadas o mediante un polígono con ángulo y distancia medidos a partir de puntos fácilmente identificables. En los puntos vértices se diseñan curvas semicirculares.

El U.S. Soil Conservation Society recomienda los siguientes radios mínimos

<u>Tipo de Zanja</u>	<u>Radio Mínimo</u>
Zanjas pequeñas ancho superior máximo 3 metros	100 metros
Zanjas medianas ancho superior entre 3 y 7 metros	150 metros
Zanjas grandes ancho superior más de 7 metros	200 metros

### 5.1 Determinación del perfil longitudinal

Del plano topográfico y del plano de ubicación de drenes se dibujan separadamente los perfiles longitudinales del terreno en el trazo de cada dren.

Si fuera necesario se toman levantamientos topográficos adicionales.

Anotándose en los perfiles características del suelo, nivel freático, fondo del dren existente, estructuras, entradas de drenes naturales, caminos, obstáculos, unidades catastrales, etc.

El objetivo principal del perfil longitudinal así obtenido es diseñar la razante del dren que debe ser más o menos paralelo al terreno.

La razante tiene dos características importantes a determinar:

- 1) La profundidad
- 2) La pendiente



### 5.1.A La Profundidad

La profundidad del fondo de un dren es de terminado por la profundidad que debe tener el nivel de agua del dren por debajo del nivel del terreno más el tirante de agua, por esto el diseño de la r~~az~~ante del dren comienza con la de-- terminación del nivel de agua en el dren, lo -- cual se indica en el perfil longitudinal.

Generalmente hay dos niveles normativos:

El nivel normal  
El nivel máximo

El nivel normal es el nivel que se produce cuando el sistema de drenaje funciona bajo condiciones de descargas de prolongada duración o sea de flujo básico. El flujo básico consiste en flujos de drenaje subterráneo y desagües de excesos de riego.

El nivel máximo es el nivel que se produce cuando el sistema de drenaje funciona bajo condiciones de descargas extremas que son de corta duración. Estas descargas son causadas por escorrentia de lluvias intensas.

De estas consideraciones se desprenden -- dos criterios para la profundidad del nivel de agua en el dren:

- 1) El nivel de agua queda a una profundidad suficiente para garantizar un buen funcio~~n~~amiento de los drenes subterráneos duran~~te~~ época prolongada.
- 2) El nivel máximo, que sucede de vez en --- cuando, es tal que no se originan desbor-des.

Muy en general se puede decir que el criterio 1 es aplicable a drenes colectores en zonas áridas o a drenes colectores con pequeña zona de influencia en zonas húmedas.

El criterio 2 mayormente es aplicable a drenes de primer orden, ya que con este criterio el dimensionamiento es tal que el criterio 1 se satisface automáticamente.

#### Perfil longitudinal y niveles de agua

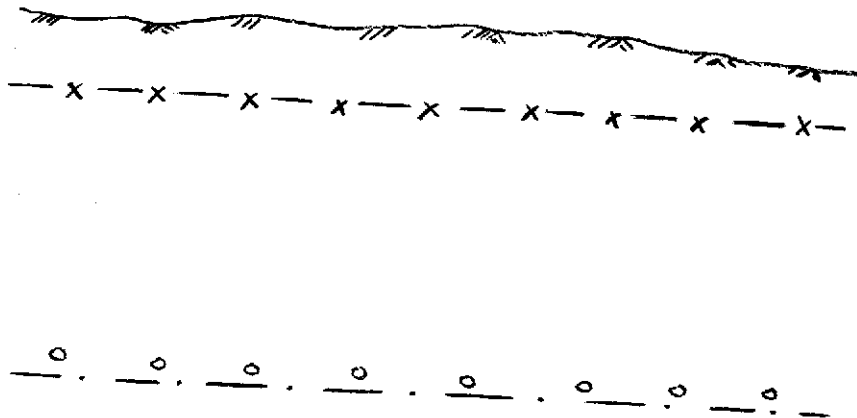
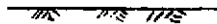
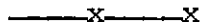

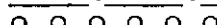


FIG 6.3

 Nivel del terreno  
 Nivel máximo del agua en el dren  
 Nivel normal de agua en el dren  
 Nivel de drenes de campo

#### 5.1.B La pendiente

La segunda característica importante del dren en el perfil longitudinal es la pendiente.

La descarga del dren y la velocidad del agua en el dren son proporcionales a la raíz cuadrada de la pendiente del dren. Por esta razón se adaptan, para diseños de sistemas de drenaje

naje pendientes máximas y mínimas. La pendiente mínima es para garantizar una cierta capacidad de descarga sin que la excavación sea excesiva. Generalmente se puede asumir una pendiente mínima de 0.5 ‰ aunque en terrenos planos debe reducirse más.

La pendiente máxima es para evitar velocidades excesivas que puedan causar erosión al dren, pendientes máximas van de 0.5 a 1.0 %. En relación al tamaño del dren y la estabilidad del suelo.

Pendientes excesivas del dren se pueden evitar instalando caídas protegidas.

En algunos casos pendientes excesivas pueden evitarse cambiando el trazo del dren en la dirección de las curvas de nivel.

#### Determinación de la descarga normativa

La descarga normal se determina con un coeficiente de drenaje en  $m^3/\text{seg}/\text{Ha}$  o en  $\text{mm}/\text{día}$ . Este coeficiente se determina mediante un balance de agua sobre una época prolongada (más de dos meses) teniendo así una descarga promedio de flujo permanente.

$$D = L + R + S - E - N$$

D = Coeficiente de drenaje

L = Lluvia      R = Riego      S = Recarga subter-

E = Evaporación      rránea

N = Drenaje natural

En áreas regadas en zonas áridas y semi-áridas el coeficiente de drenaje tiene valores aproximados de 2 a 3  $\text{mm}/\text{día}$  o sea de 20 a 30  $m^3/\text{día}/\text{Ha}$  cuando el drenaje natural y la re

carga subterránea son depreciables.

## 5.2 Dimensionamiento de Drenes Abierto

El perfil longitudinal se completa con perfiles transversales.

La distancia y extensión de los perfiles transversales depende de la uniformidad del terreno.

Se recomienda tomarlos cada 100 metros y hasta 50 metros a ambos lados del dren. Estos perfiles sirven para el control del perfil longitudinal y también para indicar la sección -- del dren y puntos importantes como caminos de servicio, etc., además sirve para el cálculo - de volúmenes de excavación.

Las dimensiones del dren incluyen la de-- terminación de:

- a) La plantilla o ancho del fondo del dren
- b) La inclinación del talud
- c) El tirante (altura) de agua y bordo libre para descargas normales y máximos.

### Cálculos usando fórmula de Manning

$$Q = A V$$

$$Q = A \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

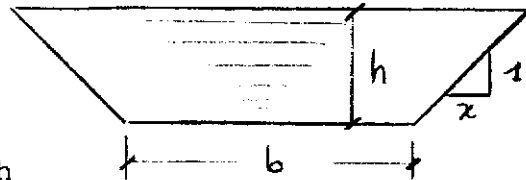
$$Q = \text{gasto descarga } m^3/\text{seg.}$$

$A R^{2/3}$  = factor de sección que depende de la sección (plantilla, talud) y tirante de agua.

$n$  = Factor de rugosidad del material

S (i) = pendiente de la zanja orden en m/m

Para secciones trapezoidales



$$A = (b + zh)h$$

$$A = bh + zh^2$$

$$R = A/P$$

$$P = b + 2h \sqrt{1+z^2}$$

$$Q = AV$$

$$V = Q/A$$

Donde:

A = área mojada en mts<sup>2</sup>

R = radio hidráulico en mts.

P = perímetro mojado en mts.

b = base en mts.

h = tirante de agua en mts.

z = inclinación de talud horizontal/vertical

V = velocidad del agua m/seg.

Factores usados en la fórmula de Manning

Factor de conductividad  $K = 1/n$  el cual varía generalmente de 10 a 30 en dependencia de la vegetación y regularidad de la sección

del dren. Los drenes recién excavados tienen un valor de K alto y llega a valores bajos si no se les da mantenimiento, por lo que el valor K de diseño debe tomarse de acuerdo al grado de mantenimiento que se le dará.

Valores de K tomados de Openchannel Hidráulics de Ven te Chow.

<u>Grado de Vegetación</u>	<u>Regularidad de la sección y del trazo del dren</u>		
	<u>Bueno</u>	<u>Medio</u> <u>rado</u>	<u>Irregular</u>
Muy limpio	40	35	30
Ligeramente vegetado	30	25	20
Moderadamente vegetado	25	20	15
Densamente vegetado	20	15	10

Drenes grandes tienen en general valores K más altos que drenes pequeños, ya que el grado de vegetación relativo a su sección, es normalmente más ligero mientras que irregularidades de la sección son relativamente menos importantes.

### 5.3 La inclinación del talud

Dependiendo de la textura del suelo

<u>Textura</u>	<u>Inclinación del talud</u> <u>(horizontal:vertical)</u>	
a) Pesado	0.75	a 1
b) Media	1	a 1.5
c) Ligera	1.5	a 2
d) Arenoso-turbosa	2	a 3

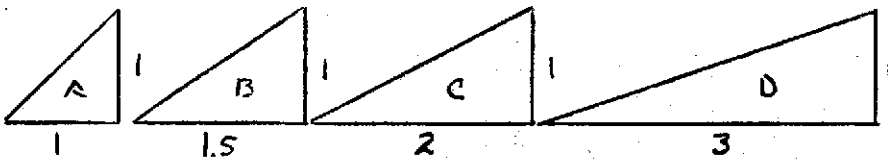


FIG 5.5

Velocidades máximas permisibles en canales de tierra en función de la textura del suelo - (tabla open channel hydraulics por ven te chow)

<u>Textura</u>	<u>Velocidad máxima permisible (m/seg)</u>
Arenosa	0.5 a 0.8
Ligera	0.8 a 1.0
Media	1.0 a 1.2
Pesada	1.2 a 1.5
Pedregosa, Gravosa, Cascajosa	1.5 a 1.8

Un resumen de la teoría de la fuerza erosiva del agua en canales de tierra se encuentra en: drainage principles and practices, Volumen IV, international institute for land reclamation and improvement wageningen, the Netherlands.

#### 5.4 Estructuras de protección del talud

Las estructuras comunes en zanjas de drenaje son puentes, badenes, alcantarillas, bocas de entrada y de salida, caídas y compuertas.

Una guía útil es "Commonly used drawing - for open irrigation systems, report CB-5 y Design standars No.3, canals and related structures" publicados por "United States Bureau of reclamation.

La protección de los taludes debe limitarse al mínimo, es muy importante diseñar gradientes planos, taludes suaves y curvas amplias en suelos erosionables.

La vegetación en los taludes proporciona una protección natural pero debe controlarse para evitar una alta resistencia, al flujo. En suelos arenosos la erosión es inminente, debido a la poca cohesión.

Los taludes pueden protegerse mediante un revestimiento con piedras sobre un material filtroprotector para permitir el paso del agua que entre al canal.

Las medidas de protección son caras y drenes en suelos erosionables necesitan un mantenimiento intensivo.

Donde desembocan desagües y otros drenes, construir bocas de entrada revestidos con piedra.

Las bocas de entrada de pequeños drenes laterales pueden ejecutarse con alcantarillas (cálculos hidráulicos para determinar la sección de la alcantarilla y la curva de represamiento se presentan en manual de hidráulica de King and Brater).

#### Bibliografía:

King y Brater, manual de hidráulica, editorial Hispano-americano, México.

US Soil Conservation service. Drainage of agricultural land, secc. 16 of the National Engineering Handbook.

Veu-TE Chow: open channel hydraulics. McGraw-Hill, New York.



## 6. DISEÑO DE DRENES ENTUBADOS

Para el diseño de drenes entubados la bibliografía europea los divide en simples y compuestos.

Llamándoles simples a las líneas de tubería que descarga a una zanja abierta o bien a un dren natural, es usado generalmente en áreas planas y se usan tubos de pequeño diámetro.

Tiene la facilidad de inspección de su funcionamiento con solo observar las salidas. El mantenimiento o limpieza en caso de obstrucción se efectúa desde la descarga o la zanja.

Figura 6.1



Los compuestos son los sistemas de drenes entubados en que cada línea de tubos subterráneos desagua en otro tubo subterráneo de mayor diámetro.

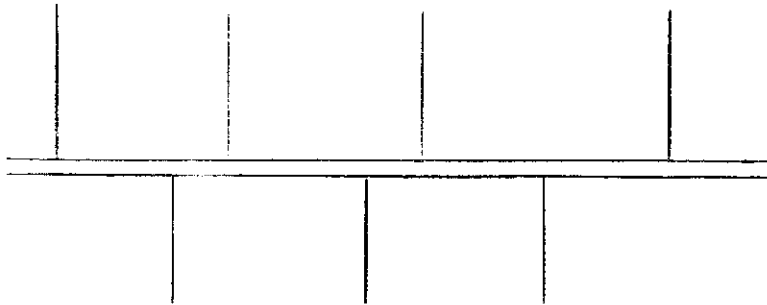
Entre las formas de diseñar un sistema compuesto se considera:

a) Sistema Paralelo:

En el cual los drenes paralelos son conectados a una línea de mayor diámetro o -- principal.

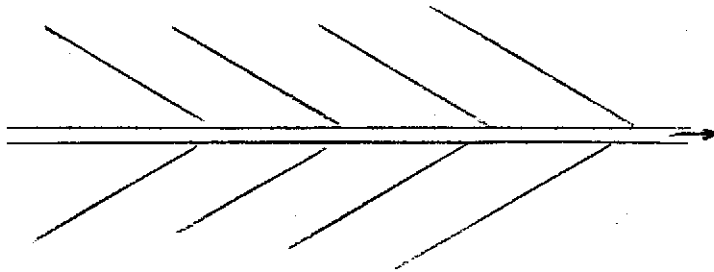
Este tipo se usa en áreas con suficiente pendiente.

Figura 6.2



- b) Sistema de espina de pescado  
 Son drenes laterales paralelos formando ángulo con la línea principal. Se usa en terrenos con pendiente fuerte.

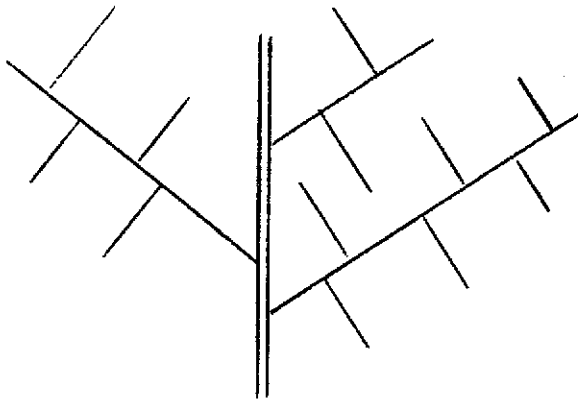
Figura 6.3



- c) Sistema Randomizado  
 Usado para drenar áreas húmedas y bajas - en zonas onduladas. Su diseño no es definido por lo que se pueden combinar laterales subprincipales y principales que es necesario diseñar en conjunto, y muchas veces es necesario auxiliarse de drenes -

superficiales para captar el exceso de --  
agua.

Figura 6.4



Un tipo especial de sistema randomizado - muy usado en áreas con fuerte pendiente es el interceptor que como su nombre lo indica interceptan el flujo subterráneo que se dirige - pendiente abajo, generalmente se localizan en - un estrato impermeable. Los drenes intercepto- res se ubican generalmente en ángulos rectos a la dirección del flujo subterráneo en el lími- te que determina el área húmeda.

Algunas veces los interceptores se descar- gan en pozos verticales, conectados con estra- tos permeables de subsuelo.

#### 6.1 Profundidad Máxima

En la práctica la profundidad puede estar limitada por la profundidad máxima a que pue- den trabajar las máquinas zanjeadoras o bien el nivel de las estructuras de salida. En áreas bajas de pequeño tamaño la profundidad de dre- nes debe ser reducida para evitar una antieco-

nómica extra profundización en las partes altas del área.

### 6.2 Profundidad mínima

Tal como se indica para drenes sanitarios para prevenir los excesos de carga de tráfico y en nuestro caso, maquinaria agrícola se exige una cubierta de 0.80 mts. y en general se colocan a profundidades entre 1.0 - 2.5 mts.

En zonas áridas con problemas de salinidad, muchos autores recomiendan 1.50 para suelos ligeros y hasta 2.5 mts. para suelos de textura fina.

### 6.3 Gradiente mínima

La gradiente mínima o pendiente es muy importante para asegurar una velocidad suficiente del flujo para movimiento de sedimentos que se introdujeran dentro de los tubos.

Pendientes arriba de 0.7 % para suelos arenosos nos garantizan velocidades cercanos a 35 cm/seg de suficiente fuerza de arrastre pero impracticable en áreas planas; por lo que se ha usado gradientes de 0.1 a 0.2 % siendo la experiencia buena si se controla el material filtrante que cubre la línea de tubos, otro aspecto es que la velocidad del flujo dentro del dren es gobernada por la gradiente hidráulica y no por la gradiente del dren.

Los gradientes mínimos recomendados en manuales norteamericanos (citados por Abelardo de la Torre)

<u>Tamaño de Tubos</u>	<u>Gradiente Mínima</u>
10 cms	0.10 %
12.5 cms	0.07 %
12 cms	0.05 %

En Holanda tamaño mínimo disponible - en plástico es 4 cms de diámetro de arcilla -- usualmente son colocados con 0.10 - 0.15 % de gradiente mínima. Si son usados sistemas compuestos, los principales son diseñados con gradiente mínima de 0.05 %.

#### 6.4 Gradiente Máxima

En áreas de relativa fuerte pendiente, la gradiente de la línea de tubos tiene que limitarse para evitar la erosión y desplazamiento del tubo ya que sus juntas no van cerrados.

En suelos no cohesivos no es recomendable usar gradientes mayores de 1 %. La literatura americana cita velocidades máximas de 1 m/seg para suelos arenosos y 2 m/seg para suelos arcillosos.

#### 6.5 Diámetro de los drenes

Los diámetros de los tubos de drenaje de penden de la cantidad de agua que va a fluir - por los tubos. El gradiente hidráulico, rugosidad de las paredes.

Existen fórmulas y nomogramas para calcular el diámetro requerido en base a estos da--tos, como la siguiente que fue sacada en base a investigaciones de laboratorio y que la presenta Abelardo de la Torre en su libro "Diseño de Drenes entubados".

nómica extra profundización en las partes altas del área.

### 6.2 Profundidad mínima

Tal como se indica para drenes sanitarios para prevenir los excesos de carga de tráfico y en nuestro caso, maquinaria agrícola se exige una cubierta de 0.80 mts. y en general se colocan a profundidades entre 1.0 - 2.5 mts.

En zonas áridas con problemas de salinidad, muchos autores recomiendan 1.50 para suelos ligeros y hasta 2.5 mts. para suelos de textura fina.

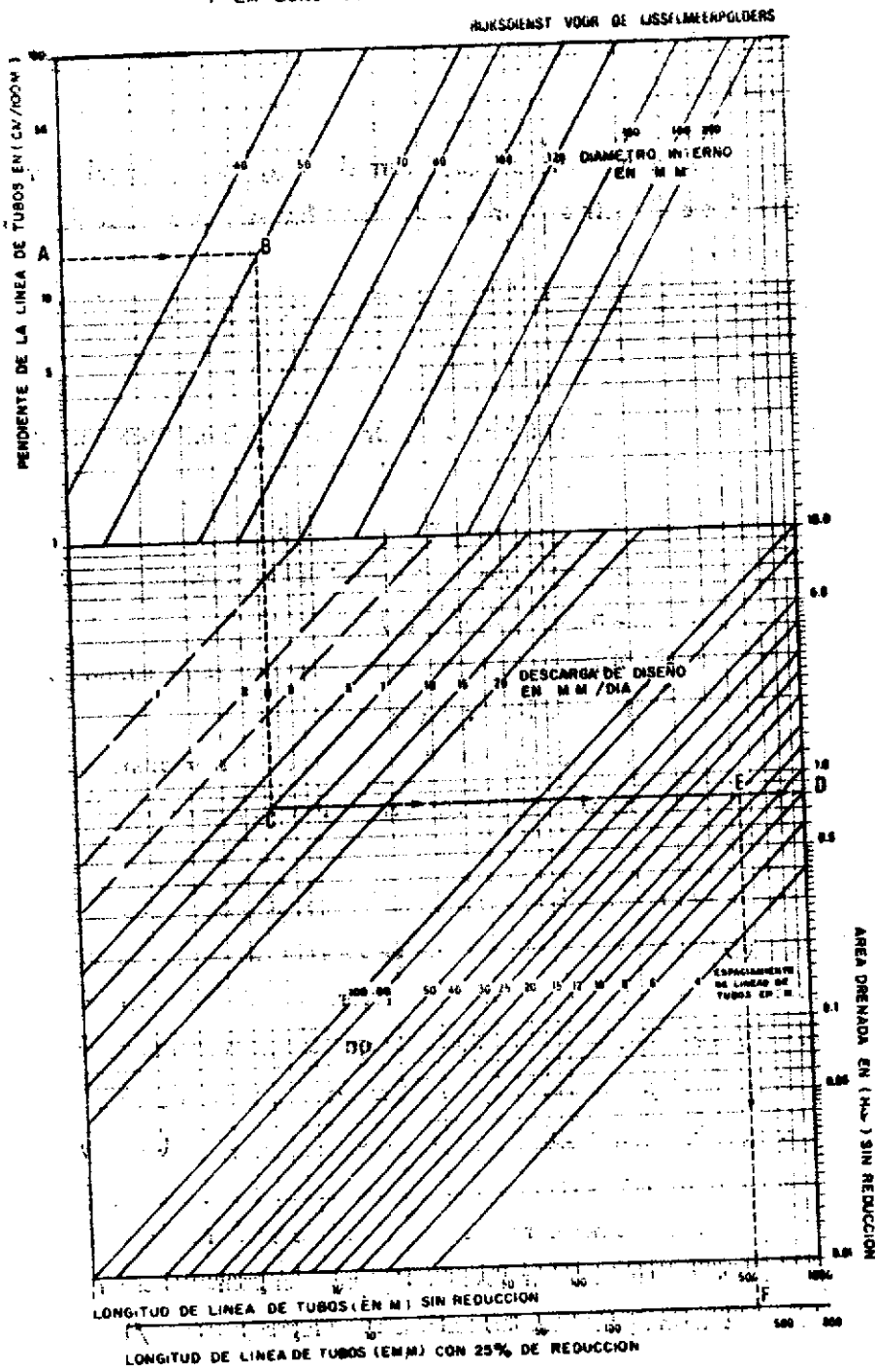
### 6.3 Gradiente mínima

La gradiente mínima o pendiente es muy importante para asegurar una velocidad suficiente del flujo para movimiento de sedimentos que se introdujeran dentro de los tubos.

Pendientes arriba de 0.7 % para suelos arenosos nos garantizan velocidades cercanos a 35 cm/seg de suficiente fuerza de arrastre pero impracticable en áreas planas; por lo que se ha usado gradientes de 0.1 a 0.2 % siendo la experiencia buena si se controla el material filtrante que cubre la línea de tubos, otro aspecto es que la velocidad del flujo dentro del dren es gobernada por la gradiente hidráulica y no por la gradiente del dren.

Los gradientes mínimos recomendados en manuales norteamericanos (citados por Abelardo de la Torre)

Fig. 1 DIAGRAMA PARA LA DETERMINACION DEL AREA DRENADA Y LA LONGITUD DE LAS LINEAS DE TUBOS



$$h = 9.55^{-4} a \cdot b^{-4.75} (Q/L)^{1.75} \left\{ L^{2.75} - (L-X)^{2.7} \right\}$$

donde:

h = carga hidráulica dentro del tubo a una distancia x de la salida (m)

b = diámetro interior del dren (m)

Q = descarga normativa a la salida del dren (m<sup>3</sup>/seg)

L = longitud del dren (m)

X = distancia desde la salida hasta el punto con una carga hidráulica en el dren (m)

a = coeficiente que depende de las perforaciones en los tubos para tubos de plástico -- sin perforaciones a = 0.31 mt.

Se ha comprobado que las resistencias en el campo son mayores que los de laboratorio debido a las perforaciones del tubo, irregularidades en las líneas, etc.

Con la fórmula corregida los investigadores SEREGEN y ZUIDEMA han hecho un nomograma, Fig. No. 6.5

Con este nomograma se puede conocer el área que se puede drenar con un tubo de un diámetro escogido y una pendiente y descarga normativa. Ejemplo:

Con una pendiente en las líneas de tubos de 15 cm/100 mts (1.5%) (A), un tubo con diámetro interior de 5 cms (B) y un dren con una descarga normativa de 7 mm/día (C) puede drenar un área de 0.8 HA (D).



Para los espacios normativos de drenes se puede escoger directamente la longitud máxima de la línea de tubos. En el ejemplo mencionado y un espaciamiento de 15 mts. (E) la longitud máxima es 540 mts. Si se espera entrada de arena fina o limo dentro del tubo se aconseja reducir esta longitud por seguridad en un 25%.

El nomograma para tubos de arcilla puede también usarse en tubos plásticos no rugosos.

#### 6.6 Material de los tubos

Muy usados en Inglaterra, Holanda y Perú, son los tubos de arcilla cocida por su facilidad de alineamiento en suelos sueltos, fabricándose en longitudes de 30 cms y diámetros interiores desde 5 a 25 cms.

Para mantener la pérdida de carga hidráulica en la vecindad de los puntos se recomienda un espaciamiento entre tubos de 3 a 10 mm para suelos estables.

Para suelos arenosos y limosos de 1 a 2 mm, una junta estrecha es importante en casos de alta pendiente debido a las altas velocidades del flujo que pueden conducir a socavamiento en el contorno del material de los tubos.

Sobre el tubo y a los costados se aplica grava graduada filtro protectora.

#### Tubos de Concreto

Además de los requerimientos de esfuerzo a la rotura debe tomarse en cuenta su resistencia a los ácidos y sulfatos, no pudiéndose usar en suelos ácidos.

### Tubos de plástico

Es el preferido por las ventajas de su poco peso, facilidad de transporte e instalación. Debido al uso de tubos largos 6 mts. y conexiones por medio de campanas tienen poco riesgo de desplazamiento en suelos sueltos, y no son afectados por suelos agresivos compuestos de ácidos y sulfatos.

Entre sus desventajas se puede mencionar el mayor costo en comparación con los tubos de arcilla.

### Perforación

Los tubos tienen 40 perforaciones por metro (4 líneas con 10 perforaciones/mts. cada línea). Cada perforación es de 25 mm de longitud y 0.7 mm de ancho, en caso de perforaciones hechas en fábrica, pero son fácilmente hechos con taladro eléctrico con diámetro aproximado de 1/2".

### 6.7 Materiales filtrantes de cobertura

Su función es la de prevenir contra la entrada de partículas finas de suelo hacia el interior del tubo de drenaje, para evitar la sedimentación en el tubo y a la reducción de la permeabilidad del filtro.

El flujo es tanto radial (hacia el tubo), como paralelo al tubo (dentro de las aberturas).

### Arena gruesa y grava

La literatura americana recomienda un espesor de cobertura y envoltura de por lo menos 7 cms.

Una envoltura completa da mejor protección pero en muchos países es usual una cobertura - de 1/2 a 1/3 del diámetro del tubo sobre la -- parte superior.

#### Fibra de Vidrio

La fibra de vidrio es un filtro bastante bueno y de fácil colocación, debiéndose tener cuidado que la resina sea insoluble a la humedad.

No es recomendable usarla en suelos de arena fina que sellen las aberturas entre las fibras.

Ha sido usada en Holanda desde 1962 calculándose que el 73% de drenes de plástico fueron cubiertos con fibra de vidrio y un 30% envolviendo a tubos de arcilla.

#### Bandas plásticas

Una envoltura de banda plástica de tejido reticular y similar a la usada para sacos de granos y recubierta de piedra pomez, podría ser un material filtrante adecuado en nuestro medio.

## 7. DRENAJE LIBRE O "TOPO" CON DRENAJE EN TUBERIAS

El drenaje libre o "topo" sin colectores de tubería se utiliza para drenar suelos de --textura pesada.

El drenaje de los suelos pesados es más - complicado que el drenaje de los suelos de tex- tura liviana debido a la necesidad de un drena- je superficial eficiente, causado por la lenta velocidad de infiltración característica de es- tos suelos, y a la necesidad de instalar los - drenes a un espaciamiento corto como consecuen- cia de una baja conductividad hidráulica.

En los suelos arcillosos pesados sometido-- dos a cambios de temperatura, el desplazamien- to del agua se lleva a cabo principalmente a - través de las grietas que se forman.

Este movimiento de agua es rápido al prin- cipio y disminuye a medida que las grietas se saturan. Es debido a esto que suelos pesados de pobre estructura requieren muchas veces un espaciamiento de dos metros para que el drena- je sea efectivo. El costo de construcción de un sistema de drenaje de esta naturaleza resul- taría prohibitivo.

Cuando este sistema se usa combinado con tuberías colectoras, el drenaje por tuberías - se construye de manera que el material de fil- tro, comunmente grava se extienda aproximada-- mente hasta 100 cms. por debajo de la superfi- cie del terreno.

El dren "topo" se construye por encima de la línea colectoras. Ver Fig. 7.1.

Los colectores reciben las aguas del dren "topo" y los llevan hacia una acequia de drenaje abierta o a una línea colectora principal para el desagüe. De esta manera los drenes -- "topo" descargan las aguas de drenaje directamente en los filtros de grava eliminándose la necesidad de construir drenes de salida para estas líneas.

Este sistema es de menor costo y construcción rápida ya que no hay necesidad de construir un sistema de desagüe para los drenes -- "topo".

Fig. No.7.1 Sistema típico de drenaje combinado tuberías enterradas o método -- "topo"

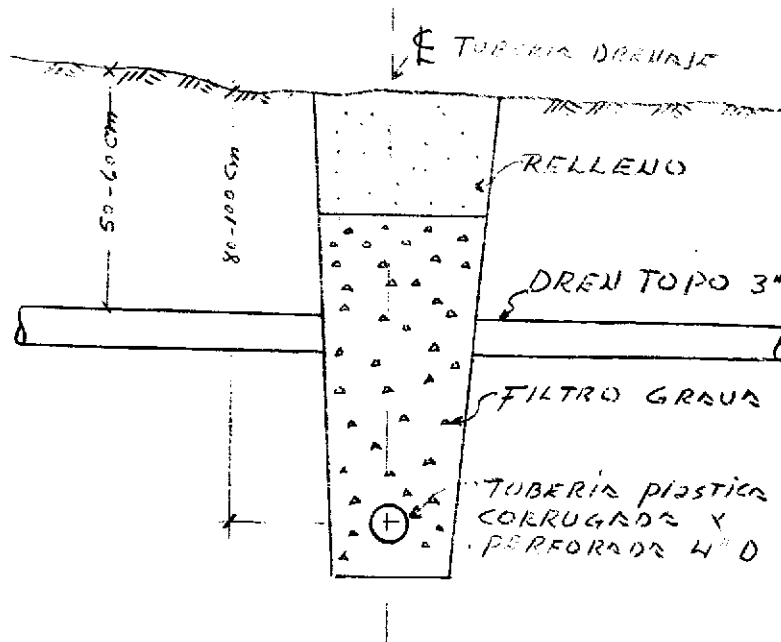
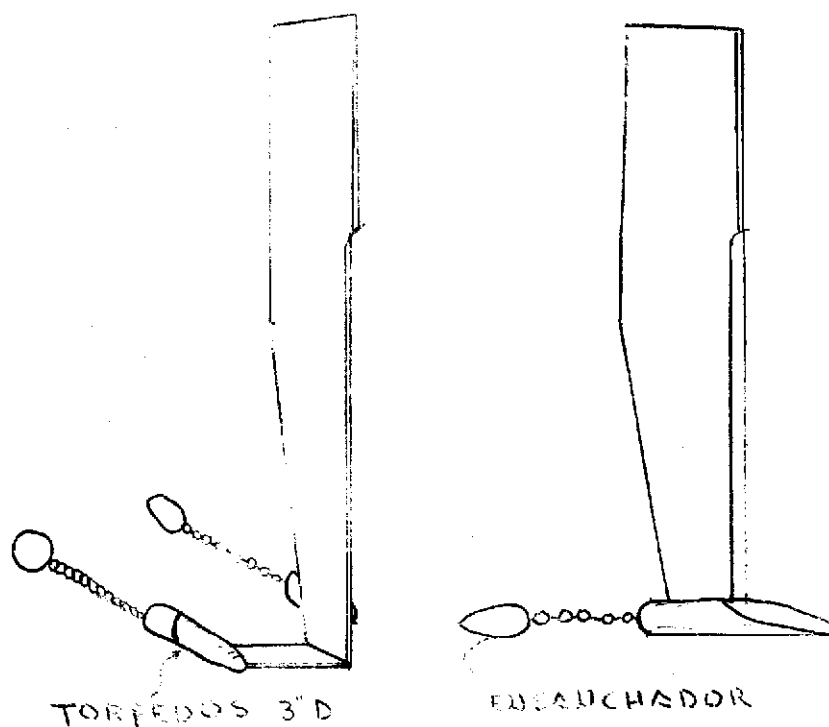


Fig. 7.2 Subsoladores con torpedo simple y do-  
ble para drenaje de topo.



El conducto libre o "topo" es construido por medio de un subsolador con torpedo, el cual se desplaza en el suelo a una profundidad de 60 a 70 cms. formando por compresión en el suelo pesado, un conducto cilíndrico de 10 cms de diámetro. Este tipo de subsolador especial no solo construye el conducto topo, sino que también forma numerosas grietas, las cuales mejoran la infiltración del agua y por ende la conductividad hidráulica.

Se conocen dos tipos de subsolador de tor

pedo simple y doble.

Los subsoladores "topo" son desplazados - por medio de tractores agrícolas de 100 HP ya que pruebas indican que para desplazar un torpedo simple en suelos pesados de 53% de arcilla y 47 de limo, se requiere aproximadamente una fuerza de 2000 Kg. para una profundidad de 55 cms. con torpedo de 8 cms. de diámetro cuando el contenido de agua del suelo fue de 25% (base seca).

Debe tenerse en cuenta que cuando la superficie del terreno está húmeda no se obtiene una buena tracción para la maquinaria.

Las condiciones óptimas serían suelo húmedo por encima del límite plástico pero la superficie seca.

#### Información útil a este método

- a) Tipo de suelo apropiado: contenido de arcilla mayor del 40% y no más de 20% (preferible menos de 10%) sin rocas;
- b) Profundidad: para pastos 50 cms. mínimo. Para tierras cultivables mínima 60 cms.
- c) Espaciamiento de los drenes libres o "topos", 2.0 a 3.0 metros.
- d) Diámetro del dren libre o "topo": 8-10 cms.
- e) Condiciones óptimas: la arcilla en condición plástica. Si el suelo está muy húmedo el dren no será uniforme y de poca estabilidad. Si el suelo está muy seco se necesitará mayor fuerza de tracción.

- f) Longitud y pendiente: El dren libre o topo operará mejor con pendiente del 1 al 2% Por debajo del 1% drenes no se desaguan -- con facilidad y retienen humedad debilitando las paredes del conducto.

Pendientes mayores de 6 a 7% causarán erosión de los drenes. La longitud recomendable para el dren "topo" variará de acuerdo al tipo de suelo, pendiente y el tamaño del área a drenar, el peligro de erosión.

Las longitudes en terrenos de pendientes mayores del 3% deben ser reducidos para así reducir el volumen total y velocidad de flujo.

HUDSON et al y el "Soil conservation service (1972) dan la siguiente guía:

Relación entre longitud y pendiente

<u>Pendiente %</u>	<u>Longitud de pendiente en metros</u>
0 - 1	30 - 60
1 - 2	60 - 100
2 - 3	100 - 120
3 - 6	120 - 210

- g) Velocidad de desplazamiento 2 a 4 Kilómetros/hora.
- h) Profundidad de las tuberías de drenaje: Mínimo 20 a 30 cms. por debajo del dren "topo"
- i) Espaciamiento entre tuberías: 30 a 50 mts



- j) Material de filtro: grava, arena gruesa y otro material granular.

El bureau of reclamation de los EEUU da el siguiente criterio para la grava:

$$\text{Material uniforme } \frac{D_{50} \text{ filtro}}{D_{50} \text{ base}} = 5 \text{ a } 10$$

$$\text{Material mezclado } \frac{D_{50} \text{ filtro}}{D_{50} \text{ base}} = 12 \text{ a } 58$$

- k) Vida útil de 3 a 15 años.

Una investigación sobre la efectividad del sistema de drenaje combinando los drenes libres o "topo" con tuberías enterradas se realizó en la granja experimental de drenaje de la universidad del Estado de Utah, en 1972. El experimento consistió de tres repeticiones de tres tratamientos. En el tratamiento uno, las tuberías se instalaron a 1 metro de profundidad con un espaciamiento de 40 metros sin drenaje libre o "topo". En los tratamientos dos y tres, la tubería se instaló como en el tratamiento uno, pero con drenes "topo" simples y dobles espaciados a 1.80 metros. El promedio de receso del nivel freático se muestra en la tabla No. 8

Tabla No. 3  
 Recesión del nivel freático como resultado de  
 varias modalidades de drenaje

Tipo de drenaje	Días después del riego para una recesión de*	
	30 cm	45 cm
1. tubería a 1 metro de profundidad espaciada a 40 metros	6.5**	10.6
2. Tuberías como en el caso 1 con drenes "topos" simples a 53 cm de profundidad espaciados a 1.80 metros	2.5	4.0
3. Tuberías como en el caso 1 con drenes "topos" dobles a 49 cm de profundidad espaciados a 1.80 metros	3.3	5.9

\* Medido en el punto medio

\*\* Encharcamiento superficial se observó en área de drenaje por tubería únicamente - en los dos o tres primeros días.

NOTA: Suelo: 53% de arcilla, 47% de limo. -  
 Posición del nivel freático: casi horizontal.

## 8. DRENAJE POR POZOS

Los pozos son también una forma de drenaje en la que en algunos casos se aprovecha un determinado nivel de presión de confinamiento natural y en otros se genera mecánicamente la energía para extraer el agua de los acuíferos y así producir el gradiente deseado en el medio para movilizar más rápidamente el agua y respetar el nivel requerido de la tabla de agua.

La naturaleza hidrogeológica de un área determina la factibilidad de utilizar tubos o tuberías verticales para el drenaje de un área como solución integral o como una solución complementaria.

El drenaje vertical generalmente se considera donde un estrato superficial semipermeable está subtendido por un acuífero de alta transmisividad. Bajo ciertas condiciones donde existe un flujo semiartesiano el sistema de drenaje horizontal clásico puede ser suplementado por uno o más pozos de "alivio" introducidos dentro del estrato bajo presión artesiana.

Existen varios tipos de drenaje vertical:

- a) Pozos de bombeo
- b) Pozos de alivio
- c) Pozos invertidos

### Pozos de bombeo o de descarga

Se refiere a aquellos en la que el agua es bombeada hacia un sistema de evacuación, a partir de un acuífero profundo o superficial, siendo de éxito los de mayor profundidad. Fig. 8.1

Por el alivio o efluentes

El acuífero profundo

### Pozos de alivio o efluyentes

Son aquellos que penetran en los acuíferos a presión (semiconfinados) y permiten al agua a presión librarse hacia arriba a la superficie, produciendo lo que podría llamarse un movimiento autogenerado hacia la zona superficial de evacuación.

Este tipo puede ser construido de un tubo largo que alcanza el acuífero semiconfinado, es necesario enlazarlo a sistemas de drenaje, ya sea entubado o zanjás.

El uso de pozos de alivio está restringido a casos especiales donde exista una completa información sobre las condiciones hidrogeológicas del lugar. Ver Fig. 8.2

### Pozos invertidos o de recarga

Estos consisten en perforaciones verticales que penetran adentro de una formación rocosa altamente porosa o un material parecido, hacia dentro de la cual el agua es evacuada, es necesario investigar que se cuente con una zona de eliminación segura. Fig. 8.3

### 8.1 Consideraciones Generales

La efectividad del método de drenaje por pozos bombeados reside en la naturaleza hidrogeológica de la región. En donde existan acuíferos libres y donde las condiciones no son complicadas por filtraciones verticales ascendentes de acuíferos artesianos profundos, este método es el más efectivo.

El costo inicial de un drenaje por pozos por lo general es más barato que el de zanjás

Fig. 8.1 Pozo de Descarga

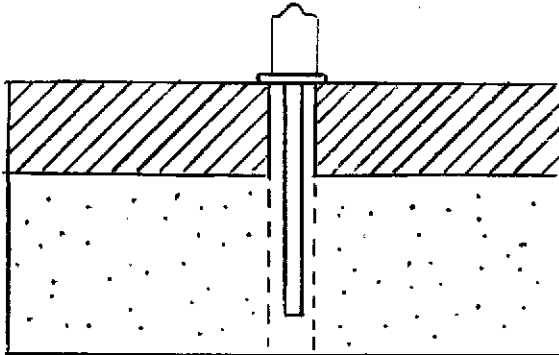
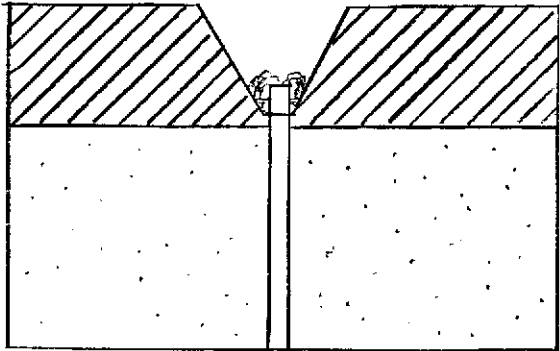


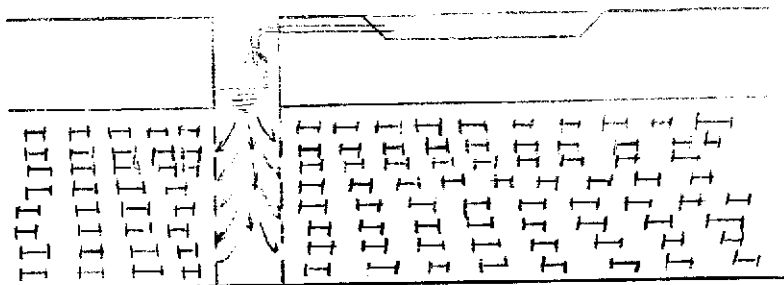
Fig. 8.2 Pozo de Alivio



abiertas o entubados. Sin embargo, los gastos de operación y mantenimiento son mayores y computados sobre un período de años, el sistema de drenaje por gravedad resulta más económico. En algunas áreas, la necesidad de agua del pozo bombeado, condiciones hidrogeológicas o problemas de control de calidad del agua subterránea condicionan la utilización del drenaje por

pozo de agua dulce, evitando así la contaminación de los pozos de los altos niveles de agua.

Fig. 8.3 Pozo de Recarga



En zonas donde el agua subterránea es muy salina para ser usada en irrigación, rara vez puede ser económicamente justificado, ya que - además tendrá que tenerse un sistema de canales o acueductos para drenar la total cantidad de agua fuera de la zona.

Si el problema de drenaje es causado por descargas de flujo vertical ascendente de acuíferos inferiores, la única solución factible es el drenaje por bombeo de pozos.

Vanderberg en Drainages Systems and management irrigation, 1973, cita las siguientes - consideraciones a observar:

- 1) un espesor adecuado, generalmente de 15 - mts. o más de un acuífero libre relativamente homogéneo.
- 2) una transmisibilidad mayor de  $100 \text{ m}^2/\text{día}$
- 3) zona de recarga distante y condiciones lí

mites que favorezca el mantenimiento de una baja tabla de agua por el bombeo.

- 4) suelos, agua y condiciones biológicas no corrosivas o ligeramente agresivos.
- 5) Disponibilidad de energía a bajo costo.

## 8.2 Mecanismo del drenaje por Pozos

Al bombear agua de un acuífero se forma una depresión alrededor del pozo llamada cono de depresión, el cual se va ampliando con el tiempo.

La naturaleza del flujo en el sistema se aproxima al estado casi permanente cuando las depresiones observadas más allá de cierta distancia ( $R$ ) a partir del pozo, no muestra apreciable depresión, a tal distancia se le llama radio de influencia del pozo.

Fig. 8.4 Efecto del bombeo

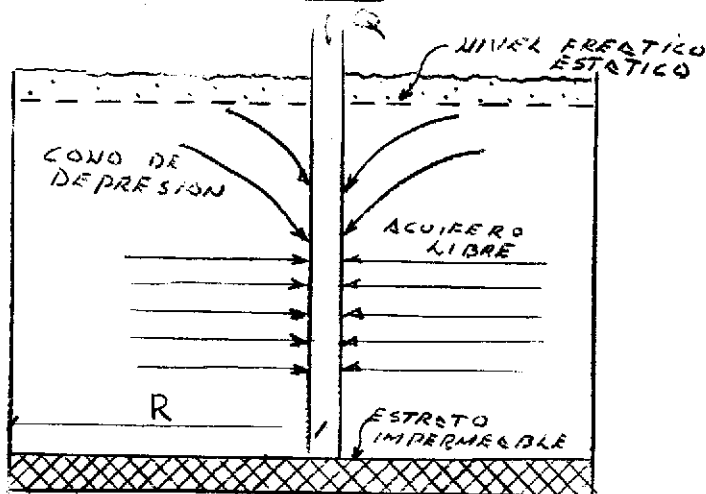
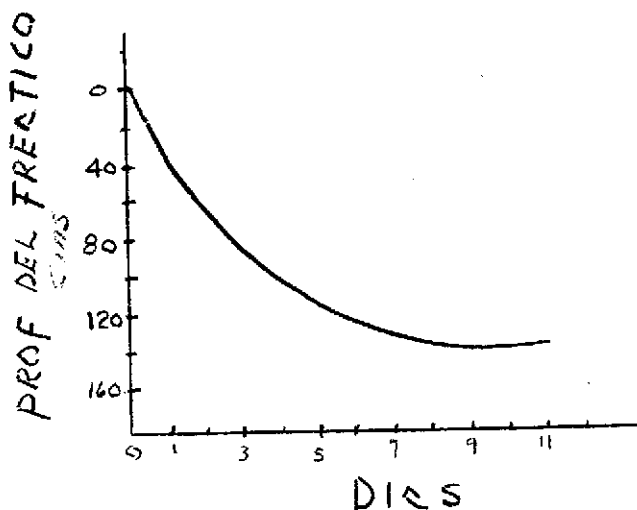


Fig. 8.5. Velocidad de depresión para cumplir el requerimiento de drenaje

- a) El nivel que habrá mantenido por debajo del terreno, ya que en él se va a drenar el exceso de agua caliente (según la cantidad de agua que se va a drenar) debe mantenerse la tabla de agua a 0.5 mts como mínimo en la estación por cultivo y 0.75 en época de cultivo y cuando margen por causa de riesgo o lluvia.
- b) La velocidad de depresión que deberá provocarse cuando se ha pasado el nivel crítico, esta es en forma escalonada en función del tiempo y profundidad, es decir a menor profundidad inicial de la tabla de agua mayor deberá ser la descarga y cuando más profundo el nivel inicial menor será la descarga requerida.

Fig. 8.5 Velocidad de depresión para cumplir el requerimiento de drenaje





### 8.3 Diseño de un sistema de drenaje por Pozos

El diseño e instalación de un sistema de drenaje por pozos es bastante complejo y cada caso es de naturaleza particular.

Lo que a continuación se planteará serán recomendaciones o lineamientos generales.

Christian sen, al referirse al drenaje -- por pozos menciona que los pozos de agua sub-- terránea raramente son "diseñados" si es que - el término diseño implica un procedimiento de planeamiento que incluya cálculos necesarios - con el objeto de obtener un resultado deseado.

Al margen de lo planteado, como punto de partida en el diseño, se debe conocer la depre-- sión permisible o requerida de la tabla de -- agua que se debe bombear para mantener la pro-- fundidad promedio exigida.

Las consideraciones para determinar el es-- paciamiento de los pozos, la programación de - bombeo y otros exigen de la determinación de - las características del acuífero (obtenida por la prueba de bombeo) una adecuada ecuación de flujo y la posible producción del Pozo.

#### Diseño:

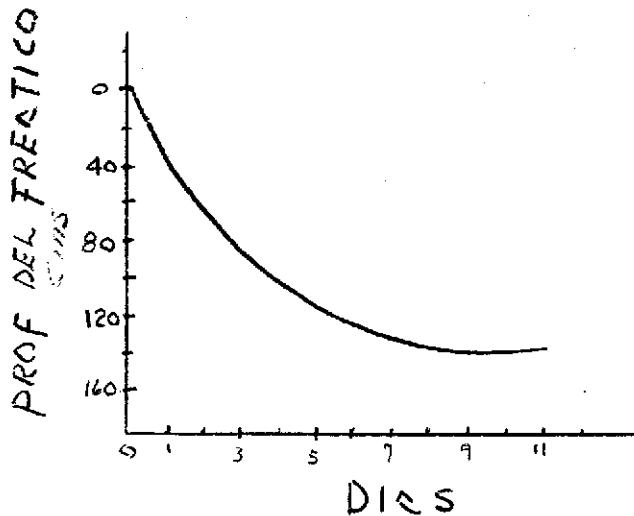
El tipo de pozo más usado es el de tubo - cribado sobre una cierta longitud y envuelto - en un forro de grava extrayendo el agua por me-- dio de bombas de eje vertical o sumergibles.

La naturaleza del acuífero y la producción requerida determinará la profundidad, diámetro y capacidad de bomba.

El nivel de agua que se mantendrá por debajo del terreno, y que se debe tener en cuenta al diseñar la tabla de drenaje, se debe tener en cuenta el nivel crítico.

- a) El nivel de agua que se mantendrá por debajo del terreno, y que se debe tener en cuenta al diseñar la tabla de drenaje, se debe tener en cuenta el nivel crítico. La tabla de drenaje (may. profundidad) debe mantenerse la tabla de drenaje a 0.30 mts como mínimo en la estación de cultivo y 0.75 en época de cultivo, cuando cargan por canales de riego o lluvia.
- b) La velocidad de depresión que deberá provocarse cuando se ha pasado el nivel crítico, esta es en forma escalonada en función del tiempo y profundidad, es decir a menor profundidad inicial de la tabla de agua mayor deberá ser la descarga y cuando más profundo el nivel inicial menor se rá la descarga requerida.

Fig. 8.5 Velocidad de depresión para cumplir el requerimiento de drenaje



Producción:

Por lo general la producción de bombeo debe ser 2 veces mayor que la capacidad requerida para extraer un volumen estimado. Para así provocar una depresión adecuada, antes de la estación lluviosa. Este factor de seguridad nos cubre una inesperada elevación por falta de alguna de las bombas o lluvias no pronosticadas.

Localización:

La localización está regida por las condiciones del lugar, es una buena práctica ubicar los en la línea media entre los canales de irrigación y si la calidad del agua lo permite se rehusará en irrigación, si no es adecuada se usarán los canales de irrigación como medio de evacuación, de no haber sistemas de evacuación habrá que diseñar canales o tuberías especiales. Es aconsejable localizar la red cerca de caminos existentes o proyectados por razones de operación y mantenimiento.

Instalación:

Los primeros pozos son construidos en zonas donde las investigaciones preliminares muestran la tabla de agua a la profundidad más superficial, sujetos a una rápida elevación o a una depresión lenta, al terminar un pozo se prueba para determinar su avance y seleccionar la bomba adecuada.

Se establecen una serie de controles para medir la depresión y la descarga en los pozos bombeados y los niveles de agua en los pozos adyacentes y en los pozos de observación durante la prueba.

El análisis de estos datos mostrará en cuanto la capacidad de los pozos que están siendo probados es diferente de la originalmente estimada y cuando se debe hacer un cambio en el espaciamiento de lo planeado por economía y eficiencia del sistema.

Estos cambios son generalmente necesarios ya que las características del acuífero son rara vez uniformes para dar una adecuada estimación durante la etapa preliminar del planeamiento.

Es recomendable estandarizar en lo posible las bombas y motores del sistema en cuanto tamaño y marca, para tener pequeño stock de repuestos.

Cuando un pozo de producción esté completo, puede ser necesario instalar pozos de observación superficial adicionales para un control más rígido.

#### 8.4 Operación y Mantenimiento

La operación y mantenimiento de un campo drenado por pozos implica un mayor número de horas-hombre-materiales y equipo, que cualquier otra instalación de drenaje.

La instrumentación mínima consiste de:

- a) Control termostático en el motor para apagarlo si se excede la temperatura y señal que indique que el motor se ha detenido.
- b) Línea de aire y medidor de presión sobre cada pozo para que a través de él se pueda medir tanto el nivel estático como el dinámico o de bombeo.

c) Tanto los pozos de observación como los de bombeo deben ser visitados semanalmente, chequeando niveles de aceite. Si la bomba está trabajando se medirá el nivel de bombeo dinámico y nivel estático al estar apagada.

Las mediciones de rutina del nivel de agua en los pozos bombeados se realizan mejor con una línea de aire y un medidor de presión, los cuales deben ser parte integrante de una instalación de bombeo.

## 9. MAQUINARIA Y EQUIPO

### 9.1 Maquinaria y equipo en construcción y mantenimiento de drenes abiertos

Para la ejecución de un sistema de drenes son importantes los aspectos siguientes:

- Tipo de drenes por ejecutar (longitud, sección)
- Tipo de suelo
- Clima
- Accesibilidad a las zonas de trabajo
- Disponibilidad de tiempo
- Sistemas de mantenimiento

La evaluación de estos factores nos determinará si los drenes se ejecutarán:

- Con recurso humano, maquinaria o mixto.

### 9.2 Selección de maquinaria

Se deberá tomar en cuenta los siguientes factores:

- a) La sección del dren por ejecutar, ancho de boca, plantilla y profundidad para decidir el alcance del brazo requerido y capacidad de cucharas.
- b) El tipo de suelo, estado de humedad y fisiografía de la zona para determinar el rendimiento que puede estimarse en función del tipo de maquinaria adecuado.

- c) Necesidad de mantenimiento lo que involucra caminos de acceso: esta maquinaria en lo posible debe ser la misma que la que se utilice en la excavación y rendimiento por hora.

Debe contemplarse equipo de apoyo como tractor, tanques de combustible y vehículos de transporte determinado por el número de frentes de trabajo simultáneo, accesibilidad y distancia entre los mismos.

### 9.3 Replanteo y preparación del Terreno

Este debe hacerse sobre una franja despejada, indicándose claramente el eje y plantilla. Para ésto se utilizan estacas en las cuales se indica el kilometraje y profundidad de corte. Las estacas de replanteo deben ponerse con pocos días de anticipación a la ejecución para evitar que sean destruidas; para fines de control de rasante deben colocarse cada 20 mts y a 10 mts de curvas pronunciadas.

La preparación del terreno incluye una plataforma para el desplazamiento de maquinaria y un camino rústico para supervisión, transporte de combustible y servicios a la maquinaria.

### 9.4 Excavación a Mano

Esta debe ser cuidadosamente organizada - previendo entre otras cosas, lo siguiente:

- Transporte de personal: debido al poco rendimiento por hombre, se requiere gran número de personas por lo que se recomienda tomar personal del lugar.

- Es necesario el empleo de inspectores o encargados para garantizar la calidad del trabajo.
- Las tareas deben ser cuidadosamente calculadas en función del tipo de suelo, profundidad de excavación, etc., en promedio se da el siguiente rango de 3 a 6 m<sup>3</sup>/tarea, profundidad de excavación hasta 2 metros, distancia horizontal hasta 3 metros máximo ya que los rendimientos bajan con la distancia, profundidad y dureza del terreno.

### 9.5 Excavación con Maquinaria

Existe una gran variedad de máquinas que se usan para estos fines, la característica común es que excavan y depositan el material a un costado, cuentan con una unidad motriz pero no tienen un sistema propio de control de profundidad de excavación, necesiéndose un estacado de corte y control permanentes, entre los más conocidos tenemos: dragalinas, retroexcavadores, palas excavadores, cortadora hidráulica de taludes, excavador de discos rotativos, bulldozer, etc.

Debe tomarse en cuenta que la eficiencia del trabajo dependerá directamente de un adecuado servicio de mantenimiento, stock de repuestos esenciales, personal mecánico y herramientas adecuadas.

### 9.6 Características y usos de algunas máquinas

#### 9.6.A Dragalinas

Uso común en excavaciones de gran sección



- c) Necesidad de mantenimiento lo que involucra caminos de acceso: esta maquinaria en lo posible debe ser la misma que la que se utilice en la excavación y rendimiento por hora.

Debe contemplarse equipo de apoyo como tractor, tanques de combustible y vehículos de transporte determinado por el número de frentes de trabajo simultáneo, accesibilidad y distancia entre los mismos.

### 9.3 Replanteo y preparación del Terreno

Este debe hacerse sobre una franja despejada, indicándose claramente el eje y plantilla. Para esto se utilizan estacas en las cuales se indica el kilometraje y profundidad de corte. Las estacas de replanteo deben ponerse con pocos días de anticipación a la ejecución para evitar que sean destruidas; para fines de control de rasante deben colocarse cada 20 mts y a 10 mts de curvas pronunciadas.

La preparación del terreno incluye una plataforma para el desplazamiento de maquinaria y un camino rústico para supervisión, transporte de combustible y servicios a la maquinaria.

### 9.4 Excavación a Mano

Esta debe ser cuidadosamente organizada previendo entre otras cosas, lo siguiente:

- Transporte de personal: debido al poco rendimiento por hombre, se requiere gran número de personas por lo que se recomienda tomar personal del lugar.

normalmente trabaja desde el eje, pudiéndolo hacer desde un costado bajando su rendimiento, para la conformación definitiva de los taludes necesita equipo auxiliar (Retroexcavadora, tractor Bulldozer).

Los rendimientos son muy variados y dependen básicamente de la sección o área de corte, capacidad de cuchara y tipo de suelo.

Tiempos empleados para excavar 1000 M<sup>3</sup> -- con diversos tamaños de cucharas, para secciones de corte variables y suelos extremos.

Capacidad de Cuchara LITS	Suelo Arenoso Area corte M <sup>2</sup>				Suelo Arcilloso Area corte M <sup>2</sup>			
	1	2	4	8	1	2	4	8
400	65H	45	32	24	68	45	35	28
500	63	40	27	22	68	40	28	23
600		37	24	18		37	26	20
700			22	16			24	18
800			21	16			23	18
1000				14				16

#### 9.6.B Pala Excavadora con giro de cuchara en el sentido del eje

Consiste de unidad motriz de auto propulsión, equipada de pluma telescópica triangular conectada a la unidad motriz mediante una corona circular que permite girar la pluma en el sentido de su eje y con ella la cuchara, esto permite adaptar la posición de la cuchara a la inclinación del talud, realizando un mejor trabajo de excavación.

Por ser de reciente desarrollo cada año --

se le encuentran mayores aplicaciones con nuevos implementos.

#### 9.6.C Pala zanjadora de accionamiento mecánico

Las palas zanjadoras, tienen un mecanismo de excavación compuesto por un brazo largo y uno corto conectados entre sí por un pin que le permite giro. Este tipo de pala tiene un alcance de 6 y 7 mts, pudiendo trabajar en todo tipo de condiciones. La ventaja de esta pala sobre una dragalina es que sus movimientos son más controlados reduciendo la posibilidad de que se maltrate el sistema de cuchara, cables y poleas.

#### 9.6.D Pala Retroexcavadora hidráulica

Compuestos de unidad motriz (tractor de ruedas u oruga) y brazo equipado con cuchara hidráulicamente accionada, teniendo giro vertical de 180° y horizontal de 360° que le da una posibilidad amplia de trabajo.

El rendimiento al igual que otras máquinas depende de la habilidad del operador. En promedio se debe lograr 3 a 4 ciclos por minuto, obteniéndose rendimientos de excavación que varía entre 30 y 60 m<sup>3</sup>/hora.

#### 9.7 Cortadoras Hidráulicas para Taludes

Han sido diseñados recientemente y resultan muy útiles para cortar los taludes a máquina con una inclinación precisa preestablecida.

Pueden ser usados simultáneamente con dragalinas o palas zanjadoras para hacer el corte de los taludes, pero son usadas particularmente para trabajos de mantenimiento y reconstruc

ción de drenes. Ellos cortan el talud y mueven la tierra hacia abajo o interior del dren y otra máquina remueve la tierra. Puede trabajar con taludes de 20° a 70° hasta 3 mts de profundidad y avanza aproximadamente 100 mts/hora.

#### 9.7.A Arados zanjadores pequeños

Consiste en un arado de vertedera con discos cortadores de talud. La reja y la parte inferior de la vertedera son recortados en forma tal que permitan que la tierra pueda ser levantada de la zanja y hechada a los lados de ella.

Puede ser montado en un tractor agrícola de más de 30 HP profundidad máxima de corte 0.8 mts, sección máxima 100 x 80 x 50 cms, avance promedio 500 m/hora.

#### 9.8 Zanjadoras tipo rotativo

Tiene la ventaja de no requerir una considerable fuerza de tracción en la barra de tiro. La potencia del motor es empleada directamente para dar movimiento a un elemento rotativo que corta y arroja el material sobre el campo.

El material es esparcido sobre un espacio determinado y no acumulado a los lados de los taludes como en el caso de los zanjadores de tipo surcados.

#### 9.9 Excavadoras de drenes abiertos de disco rotativo

Esta máquina está compuesta de un disco de gran diámetro que lleva unos cuchillos en forma de L y paletas sobre su circunferencia.

El disco va montado delante del tractor. El material es cortado y esparcido sobre el campo a un lado de la zanja, el disco puede tener un diámetro hasta 2 mts. dando profundidad de trabajo de 60 a 70 cms, su capacidad varía de 400 a 700 m/hora.

#### 9.10 Mantenimiento de Drenes Abiertos

El deterioro de una zanja de drenaje puede ser causado por el crecimiento de vegetación en el cauce, sedimentación de finos (limo) y en menor proporción por erosión y derrumbes de talud.

Por muy bueno que sea el diseño y ejecución de drenes abiertos, debe tomarse como una obra semipermanente que requiere mantenimiento.

Un mal mantenimiento acelera la destrucción de la obra, anulando el objetivo de la misma.

Podemos dividir las tareas de mantenimiento en: Control de plantas acuáticas, control de vegetación de los taludes ya que aumenta la rugosidad, pero por otro lado evita los derrumbes, y eliminación de sedimentos y reescavación.

El sistema de mantenimiento depende del tamaño de las zanjas, tipo de obstrucción, facilidad de operación, clima, etc.

La limpieza puede efectuarse en forma manual o mecanizada, la decisión depende de la disponibilidad de mano de obra y factibilidad técnica-económica.

### 9.11. Mantenimiento mecánico

9.11.A. Dragalinas: Mencionada antes para eje ~~subar~~ cución de drenes de gran sección, pue de usarse en el reacondicionamiento, no es la más adecuada por necesitar adecuados caminos y taludes resistentes.

9.11.B. Palas zanjadoras y Retroexcavadoras: También se usa para reacondicionamien to de drenes de sección grande, trabajando per pendicularmente al dren.

9.11.C. Pala de mandíbula o de almeja: Es par ticularmente útil en la remoción de lodo del fondo de la zanja.

#### Pontones Dragadores:

El sistema de dragado es montado sobre un lanchón de unos 5 mts de largo y 1.5 de ancho y unos .50 de fondo.

El desplazamiento del lanchón es controla do por medio de cable y ~~winch~~ en la parte posterior se coloca la grúa que sostiene el equipo de succión o una cortadora de vegeta ción compuesta de un rotor con cuchillos, la maleza cortada y el lodo es succionado por un tubo de admisión que lo arroja a distancia. A este sistema de dragado también se le suele equipar con un tornillo sinfín que puede remo ver el material duro que se encuentra en el fondo que depositado frente a la tubería de succión es arrojado en forma de lodo.

El tornillo sinfín tiene un largo aproxi mado de 3 metros, y un diámetro de 60 cms, pue de remover unos 30 cms en una sola operación y trabajar hasta 1.50 mts. debajo del agua.

9.11.D) Cortadores de talud: Ya descritos anteriormente en labores de construcción corta los taludes por medio de una cuchilla empujada hidráulicamente hacia abajo.

Cortadoras rotativas para talud:

Tienen gran capacidad, pudiéndose usar en material pesado y taludes deteriorados, por ser desarrollada recientemente es de alto precio .

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 1) Aunque en el uso de un sistema de drenes cerrados o entubados, los costos de instalación son generalmente altos, se debe tener presente que su duración resulta prácticamente ilimitada con un bajo costo de mantenimiento.

En contraposición de las desventajas de los drenes abiertos, donde el desperdicio de tierra cultivable puede ser significativo, las obras de arte (puentes, alcantarillas, etc.) son costosas por las características de su sección, costos de conservación y limpieza, vegetación en los taludes y focos permanentes de alimañas - no debe pasar inadvertido para el proyectista.

- 2) Los costos de instalación de drenes entubados, pueden reducirse considerablemente, utilizando maquinaria y equipos especializados.

Para proyectos grandes, la compra de esta maquinaria y equipo puede ser plenamente justificable.

- 3) Donde las características hidrogeológicas sean tales que pueda bombearse un caudal de significación ( $100 \text{ m}^3/\text{hora}$ ) y la acuífera se encuentre a no más de 50 mts de la superficie, y pueda emplearse para reforzar el suministro de agua, el método de drenaje por pozos es satisfactorio y económico, pudiendo competir con los otros sistemas.

- 4) Si el problema de drenaje se debe a la -



existencia de presión artesiana, la instalación de pozos de alivio se hace imperante.

- 5) Los drenajes deben ubicarse en dirección normal al flujo para trabajar eficientemente.
- 6) Tener el menor número de cambios de dirección en planta y perfil por ocasionar azolves.
- 7) Tratar que la profundidad media sea cercana a los 2.0 mts y mínima de 1.0 mts para que no sea deteriorada por el paso de maquinaria.
- 8) Usar pendientes que fluctuen de 0.003 a - 0.006.
- 9) Usar cajas o pozos de visita para observar el funcionamiento, los cuales tienen la función de actuar como reductores de gradiente a utilizarlos como caídas o cámaras de azolve, los cuales se ubicarán donde converjan 2 o más drenes, donde los drenes se encuentren a diferente elevación y en cambios de dirección, ya sea en planta o perfil.
- 10) Se hace necesario conservar los distritos de riego existentes, construyendo sistemas de drenaje en los lugares donde se hace imperante su instalación, ya sea por estar sujetos a inundaciones temporales o por presentar problemas potenciales de salinidad.
- 11) El campo del drenaje agrícola en Guatemala se encuentra virgen, ya que no se le ha prestado la debida atención e importan

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 1) Aunque en el uso de un sistema de drenes cerrados o entubados, los costos de instalación son generalmente altos, se debe tener presente que su duración resulta prácticamente ilimitada con un bajo costo de mantenimiento.

En contraposición de las desventajas de los drenes abiertos, donde el desperdicio de tierra cultivable puede ser significativo, las obras de arte (puentes, alcantarillas, etc.) son costosas por las características de su sección, costos de conservación y limpieza, vegetación en los taludes y focos permanentes de alimañas - no debe pasar inadvertido para el proyectista.

- 2) Los costos de instalación de drenes entubados, pueden reducirse considerablemente, utilizando maquinaria y equipos especializados.

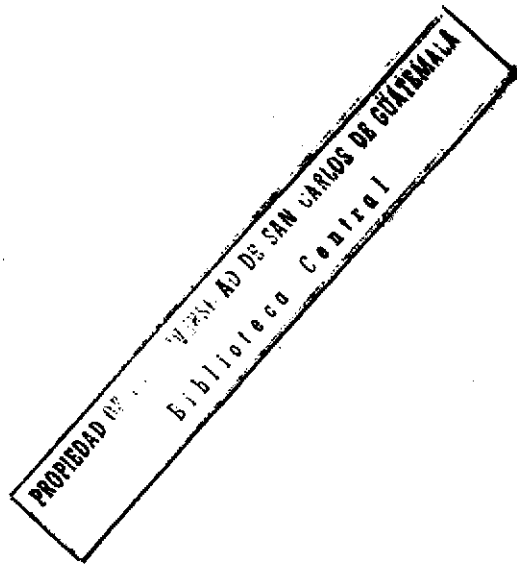
Para proyectos grandes, la compra de esta maquinaria y equipo puede ser plenamente justificable.

- 3) Donde las características hidrogeológicas sean tales que pueda bombearse un caudal de significación ( $100 \text{ m}^3/\text{hora}$ ) y la acuífera se encuentre a no más de 50 mts de la superficie, y pueda emplearse para reforzar el suministro de agua, el método de drenaje por pozos es satisfactorio y económico, pudiendo competir con los otros sistemas.

- 4) Si el problema de drenaje se debe a la -

cia, por lo que se recomienda al gobierno la formación de un departamento u oficina especializada, dedicada a encarar este -- problema exclusivamente, en base a los últimos adelantos tecnológicos, enviando a sus técnicos a efectuar estudios o especializaciones sobre la materia.

- 12) Para arrancar en Guatemala con un programa de drenaje de tierras agrícolas a gran escala, se recomienda efectuar estudios e investigaciones en áreas piloto.




BIBLIOGRAFIA

1. Open Channel Hidraulics. Ven TE Chow. Mac Graw-Hill, New York.
  2. King and Brater. Manual de Hidráulica. - Edit. Hispano-Americana, México.
  3. Drainage of agricultural land. National - Engineering Handbook.
  4. IV Curso de drenaje de tierras agrícolas - Latinoamericano -CENDRET-. Dirección General de aguas, Universidad Nacional, 1974.
  5. Manual de Drenaje Agrícola. C. J. Grassi Cidiat. Mérida, Venezuela.
  6. Luthin J. N. Drainage Engineering. John - Wiley & Sons Inc. 1965.
  7. U.S. Bureau of Reclamation. Land Drainage Techniques, serie 520. 1964.
  8. Vam Beers, W. F. J. The auger hole method Bulletin. International Institute for Land Reclamation and Improvement Wageningen, the Neetherlands. 1963.
-

  
Pablo Rodolfo König Bendfeldt

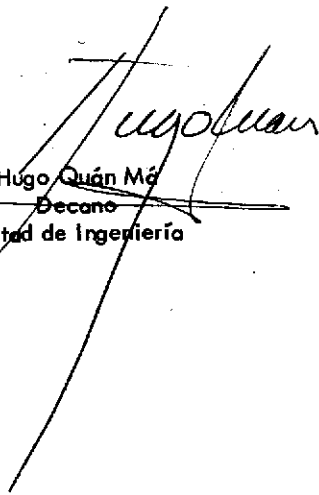
Vo.Bo.

  
Ing. Victor Hugo González  
Asesor

Vo.Bo.

  
Ing. Manuel Ángel Castillo Barajas  
Director  
Escuela de Ingeniería Civil

IMPRIMASE

  
Ing. Hugo Quán Mé  
Decano  
Facultad de Ingeniería