

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**

**FACULTAD DE AGRONOMIA**



**DISEÑO E INSTALACION DE UN SISTEMA DE DRENAJE  
AGRICOLA SUBTERRANEO EN EL MUNICIPIO DE  
VALLE HERMOSO TAMAULIPAS**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO  
DE INGENIERO AGRICOLA  
PRESENTA**

**GILBERTO SILVA OLIVARES**

MONTERREY, N. L.

AGOSTO DE 1994

40.622  
FA1  
1994  
C.5

T

S621

S5

C.1



1080063110

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**

**FACULTAD DE AGRONOMIA**



**DISEÑO E INSTALACION DE UN SISTEMA DE DRENAJE  
AGRICOLA SUBTERRANEO EN EL MUNICIPIO DE  
VALLE HERMOSO TAMAULIPAS**

**TESIS**

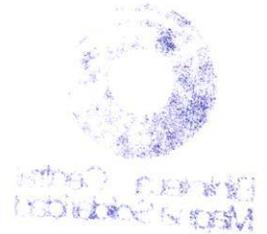
**QUE PARA OBTENER EL TITULO  
DE INGENIERO AGRICOLA  
PRESENTA**

**GILBERTO SILVA OLIVARES**

MONTERREY, N. L.

AGOSTO DE 1994

BIBLIOTECA Agronomía U.A.N.L.



11849 *e*

T  
S621  
SS



040.622

FAJ

1994

C.5



Biblioteca Central  
Magna Solidaridad

F. Fedin



FONDO  
TESIS LICENCIATURA

UPSL

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**

**FACULTAD DE AGRONOMIA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGRICOLA**

**DISEÑO E INSTALACION DE UN SISTEMA DE DRENAJE  
AGRICOLA SUBTERRANEO EN EL MUNICIPIO DE  
VALLE HERMOSO TAMAULIPAS**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO  
DE INGENIERO AGRICOLA  
PRESENTA**

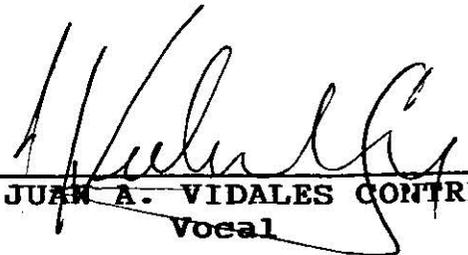
**GILBERTO SILVA OLIVARES**



**ING. BENJAMIN S. IBARRA RUIZ**  
Presidente



**ING. ROBERTO CARRANZA DE LA ROSA**  
Secretario



**ING. JUAN A. VIDALES CONTRERAS**  
Vocal

# AGRADECIMIENTOS

AL ING. EDGAR V. GUTIERREZ CASTORENA.  
Por su amistad y dirección en este trabajo

AL M. C. BENJAMIN S. IBARRA RUIZ.  
AL M. C. ROBERTO CARRANZA DE LA ROSA.  
Por su asesoría en este trabajo

A LA LIC. LIDIA MARTHA SILVA OLIVARES  
A LA SRA. ESPERANZA SILVA OLIVARES  
Por su colaboración en la revisión del presente trabajo

A LA FAMILIA HERRERA DOHRENBURG.  
En especial.  
AL ING. CARLOS HERRERA DOHRENBURG.  
AL SR. ALEJANDRO HERRERA DOHRENBURG.  
Por el gran apoyo y confianza sin los cuales no  
hubiese sido posible la realización de este trabajo.

A LA COMPAÑIA TECNOLOGIA EN DRENAJES AGRICOLAS.  
AL RANCHO EL CORTIJO.  
por que me brindaron el material  
necesario en la realización de este trabajo.

AL SR. HERIBERTO GOMEZ LIRA  
Propietario del predio.

A TODOS MIS MAESTROS.

A TODOS MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS DE ESTUDIO.

A MIS COMPAÑEROS DE TRABAJO.

# DEDICATORIA

## A DIOS

Por la vida y la luz en el ser.

## A MIS PADRES

SR. GILBERTO SILVA CHAVEZ.

SRA. ENRIQUETA OLIVARES GALVAN.

Por que con su amor y trabajo me alentaron y apoyaron para llegar a la culminación de mi carrera y con su ejemplo sembraron en mi el espíritu de superación, el mejor legado que puede recibir un ser humano.

## A MIS HERMANOS.

ENRIQUETA, MARIO, LIDIA MARTHA, ESPERANZA DEL ROSARIO,  
MARIA VICTORIANA.

## A MIS SOBRINOS.

MAYRA.

MELISSA.

MAYKA.

CESAR.

A LA FAMILIA SILVA

A LA FAMILIA OLIVARES

A MIS AMIGOS

# CONTENIDO

	pagina
Indice de cuadros.....	I
Indice de figuras.....	II
Indice de cuadros (Apéndice).....	III
Indice de figuras (Apéndice).....	IV
<b>I. INTRODUCCION.....</b>	<b>1</b>
<b>II. REVISION DE LITERATURA .....</b>	<b>2</b>
2.1. Definición de drenaje agrícola.....	2
2.1.1. Importancia del drenaje agrícola.....	2
2.2. Efectos del mal drenaje en las propiedades del suelo.....	2
2.2.1. Propiedades Físicas.....	2
2.2.2. Salinidad.....	3
2.3. Efecto del mal drenaje en el desarrollo de los cultivos.....	4
2.3.1. La aereación del suelo y la fisiología de las raíces.....	4
2.4. Conductividad Hidráulica.....	4
2.4.1. Diferencia entre conductividad hidráulica y permeabilidad.....	5
2.4.2. Factores que afectan la conductividad hidráulica.....	5
2.4.3. Métodos para estimar la conductividad hidráulica.....	6
2.4.3.1. Método de Auger Hole.....	6
2.4.4. Estudios del manto freático.....	9
2.4.5. Medidas del nivel freático.....	9
2.5. Construcción del Planos de isobatas e isohypsas.....	10
2.5.1. Plano de isobatas.....	10
2.5.2. Plano de isohypsas.....	10
2.6. Perfil a cielo abierto.....	10
2.7. Uso Consuntivo.....	12
2.7.1 Factores que afectan el uso consuntivo.....	12
2.7.2. Métodos para estimar el uso consuntivo.....	12
2.7.2.1. Determinacion del uso consuntivo por el método de Blaney Criddle.....	12
2.8. Teoría general del drenaje subterráneo.....	14
2.8.1. Régimen permanente.....	15
2.8.2. Régimen variable.....	17
<b>III. MATERIALES Y METODOS .....</b>	<b>20</b>
3.1. Area de estudio.....	21
3.1.1. Localización.....	21
3.1.2. Clima.....	21
3.1.3. Cultivo.....	21
3.1.4. Información básica.....	21
3.2. Metodología.....	21
3.2.1. Reconocimiento del área.....	21
3.2.2. Levantamiento topográfico.(Planimetría y Altimetría).....	21
3.2.3. Estimación de la conductividad hidráulica.....	23
3.2.3.1. Datos de campo.....	23
3.2.3.2. Procedimiento en el cálculo de gabinete.....	23
3.2.4. Construcción de planos de isobatas e isohypsas.....	25

3.2.4.1. Método de interpolación .....	25
3.2.4.2. Plano de isobatas .....	25
3.2.4.3. Plano de isohypsas .....	26
3.2.5. Perfil a cielo abierto .....	26
3.2.6. Determinación del uso consuntivo .....	26
3.2.7. Cálculo del coeficiente de drenaje .....	27
3.2.7.1. Cálculo de la lamina disponible .....	27
3.2.7.2. Cálculo de la lamina de riego .....	28
3.2.7.3. Cálculo del intervalo entre riegos .....	28
3.2.7.4. Cálculo de la lamina sobre riego .....	28
3.2.7.5. Cálculo de la lamina de agua a drenar .....	28
3.2.7.6. Cálculo del coeficiente de drenaje .....	29
3.2.8. Cálculo del espaciamiento entre drenes de 4" por la fórmula de Hooghoudt .....	29
3.2.9. Cálculo del espaciamiento entre drenes de 4 " por la fórmula de Glover y Dumm .....	30
<b>IV. RESULTADOS</b> .....	<b>35</b>
4.1. Resultados de las pruebas de conductividad hidráulica .....	35
4.2. Resultados de los planos de isobatas e isohypsas .....	35
4.3. Resultados del uso consuntivo y coeficiente de drenaje .....	35
4.4. Resultados del espaciamiento de los drenes de 4" por los métodos de (Hooghoudt) régimen permanente y (Glover y Dumm) régimen variable .....	36
4.5. Material que se utilizó en la instalación .....	36
4.6. Plano general de la red de drenaje .....	37
<b>V. DISCUSION</b> .....	<b>38</b>
<b>VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>39</b>
<b>VII. RESUMEN</b> .....	<b>40</b>
<b>VIII. BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>41</b>
<b>IX. APENDICE</b> .....	<b>42</b>

# INDICE DE CUADROS

	pagina
Cuadro 1. Métodos para estimar la conductividad hidráulica .....	7
Cuadro 2. Métodos para estimar el uso consuntivo .....	13
Cuadro 3. Método de Blaney Criddle para calcular el uso consuntivo .....	26

# INDICE DE FIGURAS.

	pagina
Figura 1. Método de Auger Hole (agujero de barrena) para calcular la conductividad hidráulica.....	8
Figura 2. Perfil a cielo abierto.....	11
Figura 3. Mapa de localización del municipio de Valle Hermoso Tamaulipas.....	22
Figura 4. Extractor de agua.....	24

# INDICE DE CUADROS DEL APENDICE

	pagina
Cuadro 1 A. Tablas para calcular el valor de "p" para obtener el uso consuntivo.....	43
Cuadro 2 A. Tablas para obtener el coeficiente global de uso consuntivo.....	44
Cuadro 3 A. Tabla de espesor equivalente de Hooghoudt en función de (L, D, r.) .....	45
Cuadro 4 A. Datos del polígono del terreno .....	52
Cuadro 5 A. Datos de la conductividad hidráulica .....	53

## INDICE DE FIGURAS DEL APENDICE

	Pagina
Figura 1 A. Plano de localización y distribución de los pozos de observación.....	54
Figura 2 A. Plano de curvas a nivel de la superficie ( relieve del terreno) .....	55
Figura 3 A. Plano de isobatas .....	56
Figura 4 A. Plano de isohypsas .....	57
Figura 5 A. Curva única de Hansen para el cálculo del coeficiente de desarrollo (fuente Palacios 1977).....	58
Figura 6 A. Perfil del dren de 8" de diámetro del tenedor #1 .....	59
Figura 7 A. Perfil del dren de 6" de diámetro cuerpo derecho del tenedor #1 .....	60
Figura 8 A. Perfil del dren #1 de 4" de diámetro cuerpo derecho del tenedor #1 .....	61
Figura 9 A. Perfil del dren #2 de 4" de diámetro cuerpo derecho del tenedor #1 .....	62
Figura 10 A. Perfil del dren #3 de 4" de diámetro cuerpo derecho del tenedor #1 .....	63
Figura 11 A. Perfil del dren #4 de 4" de diámetro cuerpo derecho del tenedor #1 .....	64
Figura 12 A. Perfil del dren #5 de 4" de diámetro cuerpo central del tenedor #1 .....	65
Figura 13 A. Perfil del dren de 6" de diámetro cuerpo izquierdo del tenedor #1 .....	66
Figura 14 A. Perfil del dren #6 de 4" de diámetro cuerpo izquierdo del tenedor #1 .....	67
Figura 15 A. Perfil del dren #7 de 4" de diámetro cuerpo izquierdo del tenedor #1 .....	68
Figura 16 A. Perfil del dren #8 de 4" de diámetro cuerpo izquierdo del tenedor #1 .....	69
Figura 17 A. Perfil del dren #9 de 4" de diámetro cuerpo izquierdo del tenedor #1 .....	70
Figura 18 A. Perfil del dren de 8" de diámetro del tenedor #2.....	71
Figura 19 A. Perfil del dren de 6" de diámetro cuerpo derecho del tenedor #2 .....	72
Figura 20 A. Perfil del dren #1 de 4" de diámetro cuerpo derecho del tenedor #2 .....	73
Figura 21 A. Perfil del dren #2 de 4" de diámetro cuerpo derecho del tenedor #2 .....	74
Figura 22 A. Perfil del dren #3 de 4" de diámetro cuerpo derecho del tenedor #2 .....	75
Figura 23 A. Perfil del dren #4 de 4" de diámetro cuerpo derecho del tenedor #2 .....	76
Figura 24 A. Perfil del dren #5 de 4" de diámetro cuerpo central del tenedor #2 .....	77
Figura 25 A. Perfil del dren de 6" de diámetro cuerpo izquierdo del tenedor #2 .....	78
Figura 26 A. Perfil del dren #6 de 4" de diámetro cuerpo izquierdo del tenedor #2 .....	79
Figura 27 A. Perfil del dren #7 de 4" de diámetro cuerpo izquierdo del tenedor #2 .....	80
Figura 28 A. Perfil del dren #8 de 4" de diámetro cuerpo izquierdo del tenedor #2 .....	81
Figura 29 A. Perfil del dren #9 de 4" de diámetro cuerpo izquierdo del tenedor #2 .....	82
Figura 30 A. Perfil del dren de 8" de diámetro del tenedor #3 .....	83
Figura 31 A. Perfil del dren de 6" de diámetro cuerpo derecho del tenedor #3 .....	84
Figura 32 A. Perfil del dren #1 de 4" de diámetro cuerpo derecho del tenedor #3 .....	85
Figura 33 A. Perfil del dren #2 de 4" de diámetro cuerpo derecho del tenedor #3 .....	86
Figura 34 A. Perfil del dren #3 de 4" de diámetro cuerpo derecho del tenedor #3 .....	87
Figura 35 A. Perfil del dren #4 de 4" de diámetro cuerpo derecho del tenedor #3 .....	88
Figura 36 A. Perfil del dren #5 de 4" de diámetro cuerpo central del tenedor #3 .....	89
Figura 37 A. Perfil del dren de 6" de diámetro cuerpo izquierdo del tenedor #3 .....	90
Figura 38 A. Perfil del dren #6 de 4" de diámetro cuerpo izquierdo del tenedor #3 .....	91
Figura 39 A. Perfil del dren #7 de 4" de diámetro cuerpo izquierdo del tenedor #3 .....	92
Figura 40 A. Perfil del dren #8 de 4" de diámetro cuerpo izquierdo del tenedor #3 .....	93
Figura 41 A. Perfil del dren #9 de 4" de diámetro cuerpo izquierdo del tenedor #3 .....	94
Figura 42 A. Perfil del dren de 8" de diámetro del tenedor #4.....	95
Figura 43 A. Perfil del dren de 6" de diámetro cuerpo derecho del tenedor #4 .....	96

Figura 44 A. Perfil del dren #1 de 4" de diámetro cuerpo derecho del tenedor #4 ..... 97  
Figura 45 A. Perfil del dren #2 de 4" de diámetro cuerpo derecho del tenedor #4 ..... 98  
Figura 46 A. Perfil del dren #3 de 4" de diámetro cuerpo derecho del tenedor #4 ..... 99  
Figura 47 A. Perfil del dren #4 de 4" de diámetro cuerpo derecho del tenedor #4 ..... 100  
Figura 48 A. Perfil del dren #5 de 4" de diámetro cuerpo central del tenedor #4 ..... 101  
Figura 49 A. Perfil del dren de 6" de diámetro cuerpo izquierdo del tenedor #4 ..... 102  
Figura 50 A. Perfil del dren #6 de 4" de diámetro cuerpo izquierdo del tenedor #4 ..... 103  
Figura 51 A. Perfil del dren #7 de 4" de diámetro cuerpo izquierdo del tenedor #4 ..... 104  
Figura 52 A. Perfil del dren #8 de 4" de diámetro cuerpo izquierdo del tenedor #4 ..... 105  
Figura 53 A. Perfil transversal del tenedor #2, tomado el 28 de mayo de 1994 tres  
días después de un riego..... 106

## INTRODUCCION

Con el transcurso del tiempo, áreas eminentemente agrícolas en todos los continentes, han perdido su productividad debido al aumento en el nivel del agua en el subsuelo o nivel freático y por consiguiente a la acumulación de sales provocado por el mal uso y manejo del agua, suelo y cultivos, reflejándose ésto en una considerable disminución en el rendimiento de cosecha.

Este aumento en el nivel freático trae como consecuencia ciertas modificaciones en las propiedades físicas y químicas del suelo afectando el adecuado desarrollo de las plantas. Para solucionar este tipo de problemas, el hombre se basa en la ingeniería de drenaje agrícola. Formalmente y desde el punto de vista científico el drenaje agrícola tuvo su origen en Francia con los descubrimientos de Darcy al estudiar el comportamiento del agua en una columna de suelo y darle una solución matemática que al paso del tiempo fue perfeccionándose con la intervención de científicos de épocas posteriores y que en la actualidad sigue en proceso de modificación.

El material utilizado en el drenaje agrícola subterráneo ha tenido una evolución que nos ofrece una gran diversidad de opciones, tales como: grava, barro, concreto, pvc y polietileno. Dentro de los materiales envolventes tenemos la paja, fibra de coco, fibra de vidrio, fibra de nylon etc.

En el presente trabajo ubicado en el rancho el Vaso Municipio de Valle Hermoso Tamaulipas México con coordenadas terrestres en el paralelo  $25^{\circ} 40'$  de latitud Norte y en el meridiano  $97^{\circ} 50'$  de longitud Oeste. Se diseñó e instaló una red de drenaje agrícola subterráneo utilizando tubería de polietileno corrugado con filtro de nylon, en su instalación se utilizó una maquina zanjadora Vermeer T-600D con recepción láser conectado al sistema hidráulico. especialmente diseñada para este fin.

La importancia de la ingeniería de drenaje agrícola radica en que es una ciencia comprometida a conservar y recuperar suelos agrícolas manteniendo e incrementando la producción de alimentos para el desarrollo social.

El objetivo del presente trabajo es diseñar e instalar una red de drenaje agrícola subterráneo en el municipio de Valle Hermoso Tamaulipas.

# REVISION DE LITERATURA

## 2.1. Definición de drenaje agrícola.

Según PIFSV, SARH, CIFAP, (1987) el drenaje de un suelo es la capacidad que tiene para eliminar los excesos de agua, es un factor de la producción tan importante como el riego y deben ser planeados conjuntamente, ya que los cultivos sufren daños tanto por deficiencia como por exceso de humedad.

Burgess y Claude (1960) dicen que en el más amplio sentido, el avenamiento del terreno en las regiones húmedas es la eliminación de agua libre, tanto de la superficie del terreno como del suelo en la zona de raíces de las plantas. En el cultivo moderno, y en su sentido más científico, se entiende por drenaje el control de la elevación del nivel de agua subterránea dentro de la zona de raíces para que de mejores resultados en la producción de cosechas.

### 2.1.1. Importancia del drenaje agrícola:

Withers y Vipond (1978) afirman que las raíces de las plantas necesitan tanto aire como agua. Si las condiciones climáticas, la topografía, el suelo y las prácticas de riego se combinaran para causar anegamiento en las raíces de las plantas durante períodos prolongados, sería posible que disminuyeran los rendimientos de los cultivos o incluso, que se perdieran cosechas. El agua freática salina agrava todavía más ésta situación. La finalidad del drenaje es retirar el agua no conveniente para mantener adecuadamente la ventilación y la estructura del suelo y para poder entrar al terreno con el fin de efectuar las labores de cultivo y recolección.

## 2.2. Efectos del mal drenaje en las propiedades del suelo:

### 2.2.1. Propiedades físicas.

Pizarro (1978) menciona que el exceso de humedad afecta desfavorablemente a algunas propiedades físicas del suelo de importancia para el desarrollo de los cultivos; el efecto más importante es la disminución de la aireación de la zona radicular; otras propiedades físicas afectadas son la estructura, textura, permeabilidad y temperatura. A continuación se estudian cada una de ellas.

#### a) Aireación.

El aumento de humedad del suelo se hace mediante el desplazamiento por el agua del aire que ocupa los poros del mismo, por tanto, un exceso de humedad ocasiona una disminución del contenido de aire del suelo. El oxígeno es rápidamente consumido y en consecuencia, a los pocos días el nivel de oxígeno se reduce y aumenta el bióxido de carbono. Ésta situación influye en el comportamiento de las raíces, en las propiedades químicas del suelo y en las actividades microbianas que en él tienen lugar. Se menciona que la falta de oxígeno en la zona radicular trastorna la fisiología de las raíces, dificultando la absorción de agua y nutrientes y su transporte a las partes aéreas, todo lo cual se traduce en disminución de la producción.

### **b) Estructura.**

La saturación del suelo afecta a su estructura por distintos mecanismos. Uno de ellos es a través de la salinización. El exceso de sales suele ir asociado al mal drenaje, y ocasiona en ciertas condiciones alteraciones en la estructura que pueden llegar hasta su total deterioro. Otra forma de deterioro es que facilita la compactación la cual es ocasionada por el paso de la maquinaria agrícola. En suelos saturados, el desarrollo de las raíces es menor, sobre todo a profundidad, lo que indirectamente también afecta a la estructura. Por todas éstas razones, es frecuente que los suelos mal drenados presenten una estructura desfavorable, compacta y poco permeable que la de los suelos con buen drenaje.

### **c) Permeabilidad**

Los agentes que modifican la estructura tienen un efecto directo sobre la permeabilidad, ya que disminuyen la velocidad de flujo del agua a través del suelo ocasionados por la compactación y la degradación de la estructura.

### **d) Textura.**

Más que una relación causa - efecto entre el mal drenaje y la textura, lo que se da con mucha frecuencia es la coincidencia de texturas arcillosas con áreas mal drenadas. La razón de ésta coincidencia es que las partículas finas arrastradas por el agua de escorrentía se depositan en las áreas donde el agua pierde velocidad, es decir, en cuerpos de agua, valles, deltas y otras zonas bajas, en las cuales el drenaje siempre dará dificultad por la situación topográfica.

Del mismo modo que el mal drenaje tiene poco efecto sobre la textura, la mejora del drenaje no tiene prácticamente consecuencias en esa propiedad del suelo: un suelo arenoso lo continuará siendo después de drenado, igual ocurre con los arcillosos, francos, etc. Este hecho parece obvio y sin embargo, se ven proyectos en los que se predice una gran mejora de la textura como consecuencia del drenaje.

## **2.2.2. Salinidad.**

Llerena (1977) dice que el probable ensalitramiento en los terrenos agrícolas y el estudio de medidas para combatirlo han sido de mucho interés, tanto por el incremento de los procesos de salinización como por las pérdidas sufridas a las economías de diferentes países afectados.

Cabrera (1989), citado por Torres (1990) establece que la mayoría de los suelos afectados por exceso de sales están localizados en zonas áridas y semiáridas del mundo, en donde la precipitación no es suficiente para lixiviar los excesos de sales que llegan al suelo, propiciando su acumulación, y puede agravarse en aquellos suelos manejados bajo riego. En México existen aproximadamente 5 millones de hectáreas bajo riego de las cuales el 10% tienen diferentes grados de salinización. De las 500,000 Has. afectadas por cantidades excesivas de sales solubles, el 50% están localizadas en la región noreste de México.

Afirma Pizarro (1978), en la gran mayoría de los casos, la salinidad de los suelos es consecuencia de un drenaje deficiente. En los terrenos mal drenados se acumulan las sales disueltas en el agua de riego o de escorrentía, pudiendo salinizar el complejo de cambio.

### **2.3. Efectos del mal drenaje en el desarrollo de los cultivos:**

La alteración que mayor perjuicio causa a los cultivos es la disminución de la aireación, por su efecto directo sobre la respiración de las raíces y por el indirecto de modificar las actividades microbianas.

#### **2.3.1. Aireación del suelo y la fisiología de las raíces.**

El normal desarrollo de las actividades fisiológicas de las raíces como (respiración, absorción de agua y nutrientes, etc.) requiere la presencia de oxígeno en el suelo, que es consumido por las raíces produciendo bióxido de carbono. El oxígeno en el suelo se puede encontrar de dos formas: en estado gaseoso como parte de la atmósfera del suelo, o disuelto en la solución del suelo. En un medio bien aireado, la atmósfera del suelo, tiene una composición algo diferente a la de la atmósfera libre. El contenido en nitrógeno es casi igual (79%), el de oxígeno algo inferior (20%) y el de bióxido de carbono bastante más elevado como consecuencia de la respiración de las plantas y microorganismos. El contenido medio de bióxido de carbono de la atmósfera libre es de (0.03% ), mientras que en el aire del suelo es de (0.2-0.3%).

En medios mal aireados, el contenido de oxígeno desciende al (10%), pudiendo llegar al (2%) cuando el contenido de oxígeno baja del (8%), comienzan los procesos anaerobios.

En suelos con mal drenaje, la respiración de las raíces se ve muy afectada. Los macroporos, donde normalmente existía aire, están ocupados por el agua. Al principio las raíces consumen el aire atrapado en el agua del suelo, el cual no es expulsado totalmente, asimismo utilizan el oxígeno disuelto. Ésto explica porque las plantas resisten algún tiempo (uno o dos días) con el suelo saturado sin que disminuya la producción. Cuando el oxígeno disponible desciende por debajo de los niveles que son distintos para cada planta, las raíces disminuyen también su actividad respiratoria y en consecuencia disminuyen también sus actividades fisiológicas, con las siguientes consecuencias.

- a) Disminuye la absorción de iones, por el orden siguiente: K, N, P<sub>2</sub> O<sub>5</sub>, Ca y Mg.
- b) Disminuye el transporte de éstos iones a las partes aéreas.
- c) Disminuye la absorción de agua.

Algunas plantas tienen una elevada resistencia al exceso de humedad, debido a que disponen de ciertas adaptaciones morfológicas. Un caso típico es el arroz. Ésta planta posee espacios intercelulares que constituyen verdaderos canales que comunican las partes aéreas con las raíces. A través de éstos canales el oxígeno absorbido por las hojas es conducido a las raíces, que de ésta manera pueden respirar libremente.

### **2.4. Conductividad hidráulica.**

La SARH (1978) menciona que la conductividad hidráulica, también llamada coeficiente de filtración, es probablemente la característica de los suelos más importante y difícil de estimar acertadamente. Son múltiples los problemas que no pueden ser resueltos satisfactoriamente si no se cuenta con este dato, especialmente en las cuestiones referidas a la ingeniería de riego y drenaje de las tierras.

### **2.4.1. Permeabilidad y conductividad hidráulica.**

El uso del término permeabilidad ha sido objeto de mucha confusión, ya que se ha aplicado como sinónimo de la conductividad hidráulica (K).

La permeabilidad se refiere a la propiedad de los suelos y otros medios porosos de permitir el paso de los fluidos, en particular del agua, y su uso es generalmente en sentido cualitativo.

La conductividad hidráulica se define como la velocidad de filtración que se presenta en un medio saturado, cuando el gradiente de energía es igual a la unidad, mientras que la permeabilidad es una propiedad que varía exclusivamente con el medio, la conductividad hidráulica depende tanto de las características del suelo como del fluido. Dentro de las características del medio (el suelo), tenemos el área porosa, la geometría del espacio poroso, las características del fluido que afectan la conductividad son la densidad y la viscosidad del mismo, es decir, principalmente varía en función de la salinidad y temperatura del agua.

### **2.4.2. Factores que afectan la conductividad hidráulica.**

Dada la multiplicidad de factores que influyen en la variación del valor de la conductividad hidráulica, nunca se llega a determinar su valor exacto, las determinaciones que se hacen para estimarla, son con el propósito de obtener un valor de ésta que refleje en forma cercana las condiciones reales del movimiento del agua en el suelo. Algunos factores que afectan a la conductividad hidráulica son los siguientes:

a) **Tamaño de las partículas de arena.** Los constituyentes sólidos predominantes en los suelos son minerales y un análisis de la arquitectura interna indica que depende en general de la naturaleza y disposición de las partículas que lo forman; así conforme éstas sean más o menos esféricas no se colocan juntas y el tamaño de abertura resultante depende de la magnitud de las partículas, por consecuencia, mientras más grandes sean éstas, será más amplio el sistema capilar de poros.

b) **Porosidad del sistema.** Dado que el agua subterránea es conducida y contenida por los poros que presentan las formaciones del suelo, la forma y características de éstos influyen en el comportamiento de aquélla. Las variaciones de forma volumen y orientación de los poros del suelo son tan grandes que modifican por completo el carácter del movimiento del agua en su interior, repercutiendo en la conductividad hidráulica.

c) **Forma de las partículas de arena.** Las derivaciones teóricas que relacionan la conductividad hidráulica y el diámetro de las partículas suponen que son de forma esférica, sin embargo, bajo el microscópio se observa que los granos de la arena tienen toda clase de formas, siendo frecuentemente muy angulosas. La forma de las partículas tienen influencia en el valor del perímetro de la sección transversal de los poros que es un factor determinante para la conductividad hidráulica, así como la compactación en las arenas, variando así la porosidad del sistema y como consecuencia la conductividad hidráulica.

d) **Distribución de la arena.** Ésta característica tiene una marcada influencia en el valor de la conductividad hidráulica, ya que cuando las partículas son de diferentes tamaños, las más pequeñas pueden colocarse entre las más grandes, bloqueando de ésta manera una gran cantidad de poros y haciendo más pequeña la conductividad que cuando las partículas tienen las mismas dimensiones, esto puede indicarse como una dimensión de la porosidad.

e) Homogeneidad del sistema. De igual forma que las partículas o tamaños de pequeñas partículas pueden ser distribuidas homogéneamente entre las más gruesas, pueden también presentarse más o menos en capas separadas. Esto puede ser el caso cuando se vierten muestras alteradas en un perímetro para determinar la conductividad donde puede producirse la separación. Es más importante la presencia de capas finas entre otras de naturaleza gruesa causada por la sedimentación que en el curso del tiempo forma los horizontes del suelo.

f) Contenido de arcilla y distribución de sus partículas. A este respecto se debe considerar el hecho de que las partículas de arcilla son muy finas respecto a las de arena y se encuentran generalmente formando agregados que son depositados al mismo tiempo que las partículas de arena. Algunas partículas de arena extremadamente finas pueden ser incorporadas a los agregados, pero dado que las partículas de arcilla se encuentran en cantidades mucho mayores, el carácter del sistema es dominado por ellas. Los poros entre las partículas de arcilla son muy pequeños en comparación con los que se dan entre las partículas de arena (en proporción 1 a 1000). La magnitud con la cual las partículas de arcilla disminuyen la conductividad hidráulica depende del número de éstas partículas, el modo como están agregadas y el tipo de arcilla.

g) Contenido salino del agua. Su influencia sobre la conductividad hidráulica está dada por la variación que provoca en la viscosidad del agua.

### 2.4.3. Métodos para estimar la conductividad hidráulica:

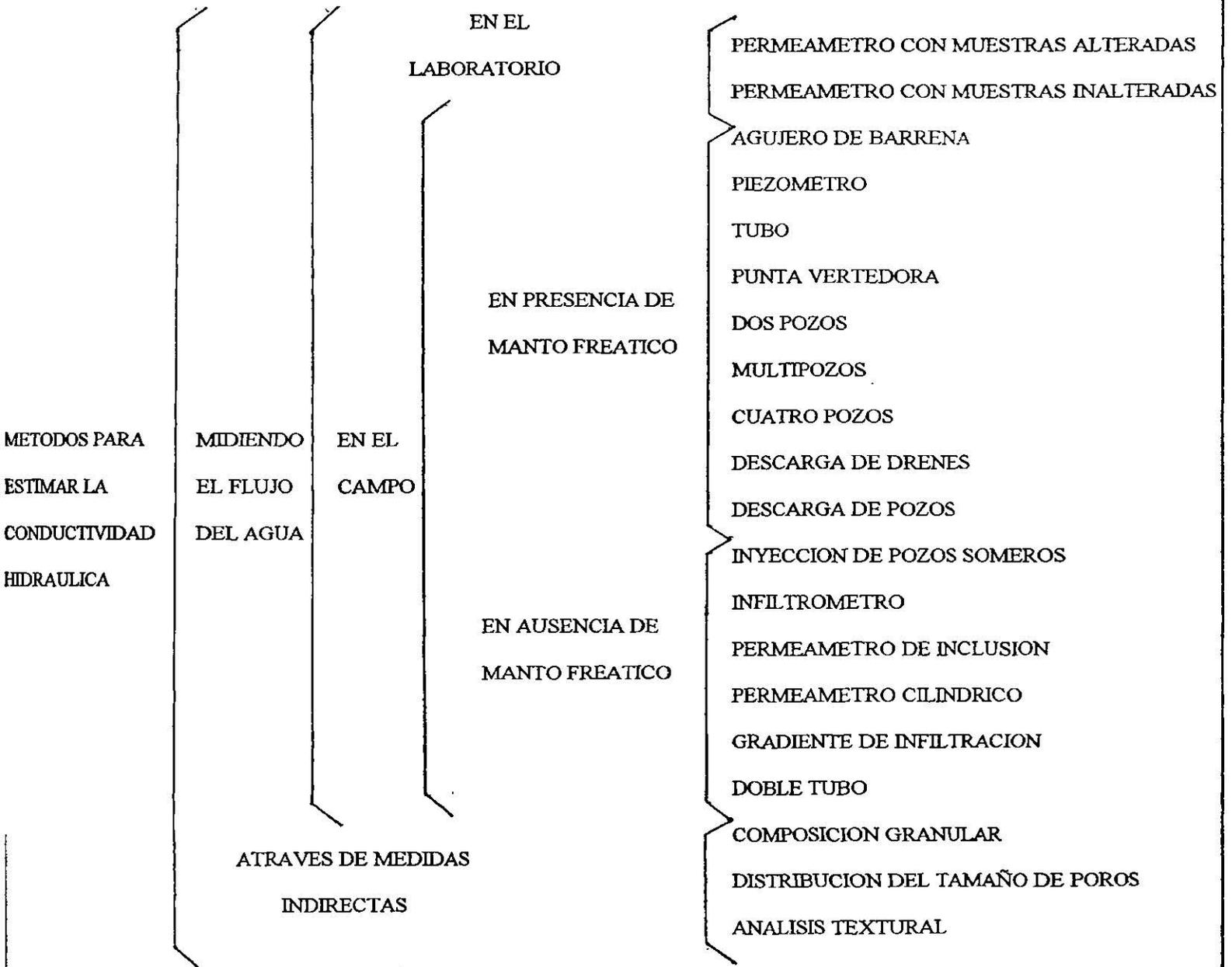
**Clasificaciones.** Los métodos para estimar la conductividad hidráulica se esquematizan en el cuadro 1

#### 2.4.3.1. Método del Auger Hole.

Pizarro (1978) señala que el método de Auger Hole o del agujero de barrena es el más utilizado en estudios de drenaje. Teniendo el inconveniente que mide solo la permeabilidad en los estratos situados por debajo de la capa freática. El principio general es muy simple, por medio de una barrena se abre un agujero en el suelo, hasta una cierta profundidad por debajo de la capa freática. Cuando el nivel freático se estabiliza, se extrae parte del agua y se mide la velocidad de ascensión en el pozo. En la figura 1 se muestra el método de Auger Hole. Se hace un pozo en el suelo con  $2r$  de diámetro, a una profundidad  $p$  encontrándose el nivel freático. El pozo tiene una profundidad  $H$  bajo la capa freática y a una distancia  $S$  del fondo del pozo a un estrato impermeable. El método permite que el nivel freático se recupere hasta el nivel inicial y, por medio de un bailer o por cualquier otro procedimiento, se extrae agua del pozo hasta la profundidad  $h_0$ , medida respecto al nivel freático. En este momento se pone en marcha el cronometro y se mide el tiempo transcurrido hasta que se alcanzan los niveles  $h_1, h_2, h_3 \dots h_n$ . La prueba debe terminar antes que  $h_n - h_0 (= \Delta h)$  supere el valor  $h_0 / 4$ , pues de otra forma se presentan fenómenos que invalidan el método.

Llamando  $\Delta t$  al tiempo total transcurrido en la prueba donde alcanza el nivel  $h_n$ , la conductividad

Cuadro 1. Metodos para determinar la conductividad hidraulica.SARH 1978.



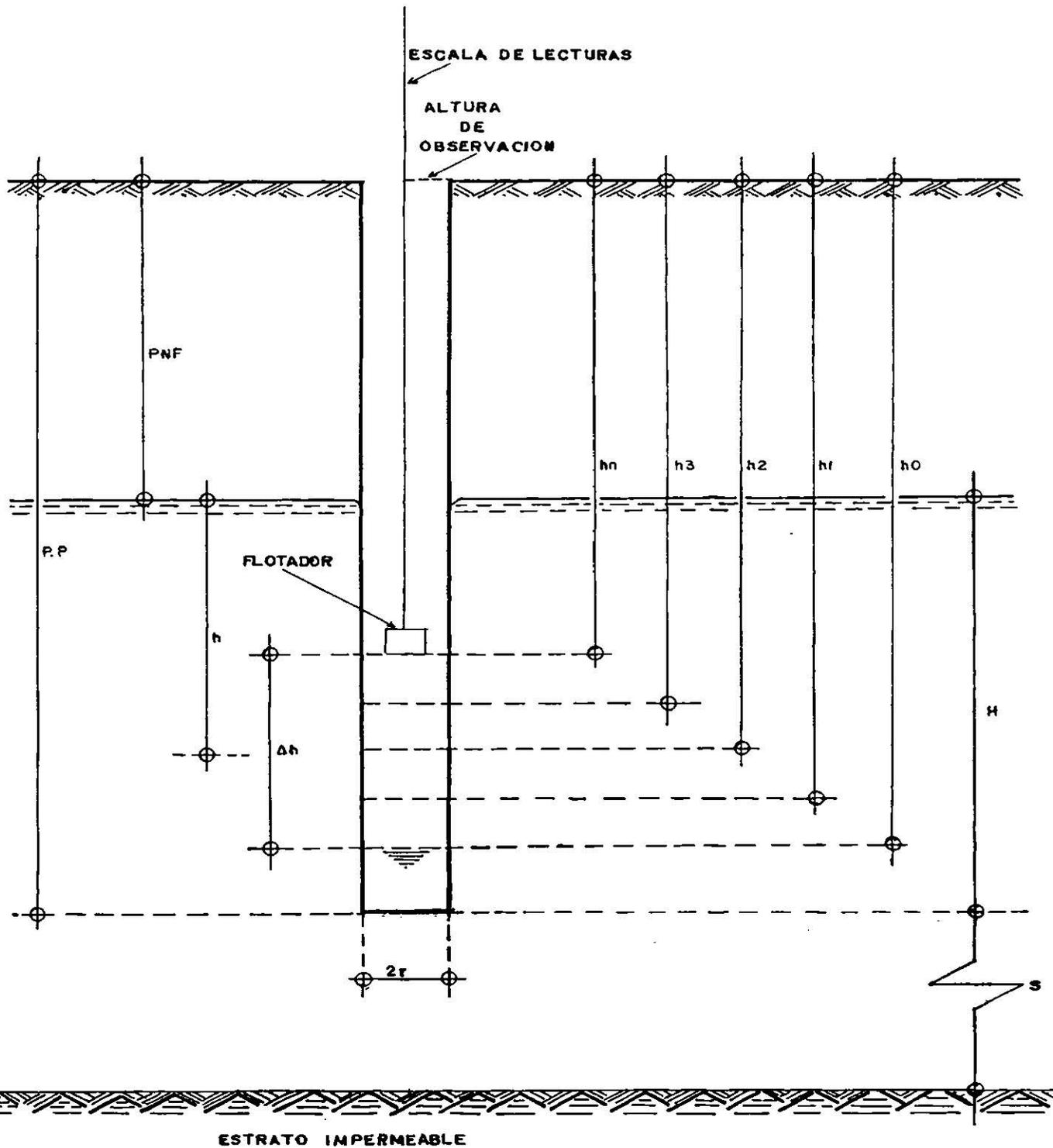


Figura 1. Metodo de Hauger Hole (agujero de barrena) para calcular la conductividad hidraulica SARH 1978.

se calcula por la siguiente fórmula:

$$K = C \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad (1)$$

Donde: C es el factor de geometría del pozo, que está en función de h, H, r y S. Ésta función es diferente según los casos, como se indica a continuación:

b)  $S \geq 1/2 H$

$$C = \frac{3600 r^2}{(H + 10 r) \left( 2 - \frac{h}{H} \right) h} \quad (2)$$

a)  $S = 0$

$$C = \frac{4000 r^2}{(H + 20 r) \left( 2 - \frac{h}{H} \right) h} \quad (3)$$

Si en el perfil se encuentran dos estratos con características diferentes, se hace un pozo ligeramente menos profundo que la primera capa, determinando el K1, y otro a una profundidad más pronunciada estimando a K2 del estrato subterráneo. La conductividad media de los dos estratos es la siguiente:

$$K_d = K_1 * H_1 - K_2 (H_2 - H_1). \quad (4)$$

#### 2.4.3.1.1. Estudios del manto freático:

Es un aspecto muy importante para conocer la naturaleza y magnitud del problema de drenaje, ya que a través de dicho estudio se obtiene gran parte de la información necesaria para estimar sus condiciones. La posición de la capa freática en el perfil del suelo, en tiempo y duración se encuentra relacionada directamente con el régimen de humedad y aireación que se encuentra en el estrato del suelo donde se desarrolla el sistema radicular de los cultivos, por lo que la profundidad a la que se debe mantener la capa freática deberá ser controlada por un sistema de drenaje adecuado.

#### 2.4.3.1.2. Medida del nivel freático:

Torres (1991), las lecturas de la profundidad del nivel freático se realizarán con respecto a la superficie del suelo, por medio de una sonda acústica, que consta de una cinta métrica y una manguera unidas a una varilla rígida y recta que al soplarse en el extremo superior de la manguera produce un sonido característico al entrar en contacto con el agua.

## 2.5. Construcción de planos de isobatas e isohypsas.

### 2.5.1. Plano de isobatas.

Fuerón ubicados en el plano topográfico del área de estudio los pozos de observación, se anotaron las profundidades del nivel freático con respecto a la superficie del terreno con las que se trazaron las

curvas de igual profundidad que sirven para determinar, las zonas con distintas profundidades de nivel freático, localización de las áreas con problemás de drenaje, así como las áreas que presentan espesores de suelo saturado a menos de dos metros de profundidad.

### 2.5.2. Plano de isohypsas.

Los planos del nivel freático con respecto al nivel del mar, son útiles para determinar los recorridos de las líneas de corriente y sus posibles fuentes de alimentación y para estimar la velocidad de los desplazamientos del flujo en el área de estudio. Para su construcción, se anotan en cada uno de los pozos de observación el valor de la altura o cota del nivel freático referida al nivel del mar; con éstos valores se trazan las curvas de igual nivel con las que se obtienen la siguiente información: las líneas equipotenciales, la dirección de las líneas de corriente de las aguas freáticas, las zonas con diferente gradiente hidráulica, posibles zonas de aportación o sumideros, y el valor relativo de las conductividades hidráulicas de cada área.

## 2.6. Perfiles a cielo abierto:

Ortiz y Ortiz (1990) afirman que una de las contribuciones más significativas de Dokuchaiev, el padre de la ciencia del suelo, fue la revolucionaria idea de como estudiar los suelos, propuso hacer pozos y estudiar en una de sus caras (PERFIL), la variación vertical. El estudio de ésta variación, conocida como morfología de suelos, permite diferenciar las capas u horizontes que constituyen el perfil. figura 2. Para los horizontes existen reglas de nomenclatura, en las cuales se incluyen las letras mayúsculas (O,A,B,C y R); números (O1,O2,A1,B2,...); subíndices (B<sub>2t</sub>,B<sub>2h</sub>,C<sub>m</sub>,C<sub>g</sub>,...) y números romanos (IIA1,IIIC<sub>a</sub>,...). Las letras mayúsculas dividen dos tipos de horizontes, los orgánicos con la letra O de los minerales con A,B,C y R. La diferencia entre horizontes orgánicos y minerales es su contenido de materia orgánica.

Es conveniente indicar sobre los números que éstos tienen un significado muy preciso, por ejemplo un A2 es típicamente una zona de lavado, lo cual indica una remoción de arcilla, materia orgánica o de hierro, quedando consecuentemente arenas cuarzosas de color blanquecino, que dieron origen al nombre ruso Podzol que significa ceniza de madera, la idea inicial era establecer una analogía entre color y proceso. En ocasiones los horizontes se subdividen, por ejemplo un A1, pudiera dividirse en A11 y A12; ésto no significa que se tengan 11 o 12 divisiones, sino ambos son A1 con su definición específica y subdivididos por alguna razón. El uso de subíndices en la nomenclatura, es para especificar con mayor detalle un proceso o característica de un horizonte. Para las depositaciones, existen dentro de las reglas de nomenclatura los números romanos para diferenciarlas. El número I romano no se escribe. Para establecer la presencia de un II u otros números romanos (III, IV,...) se debe evidenciar una *discontinuidad litológica*, ésto significa que debemos tener claridad de que se trata de diferentes materiales de origen, cambios muy contrastantes en los contenidos de arena o de color o capas de gravas.

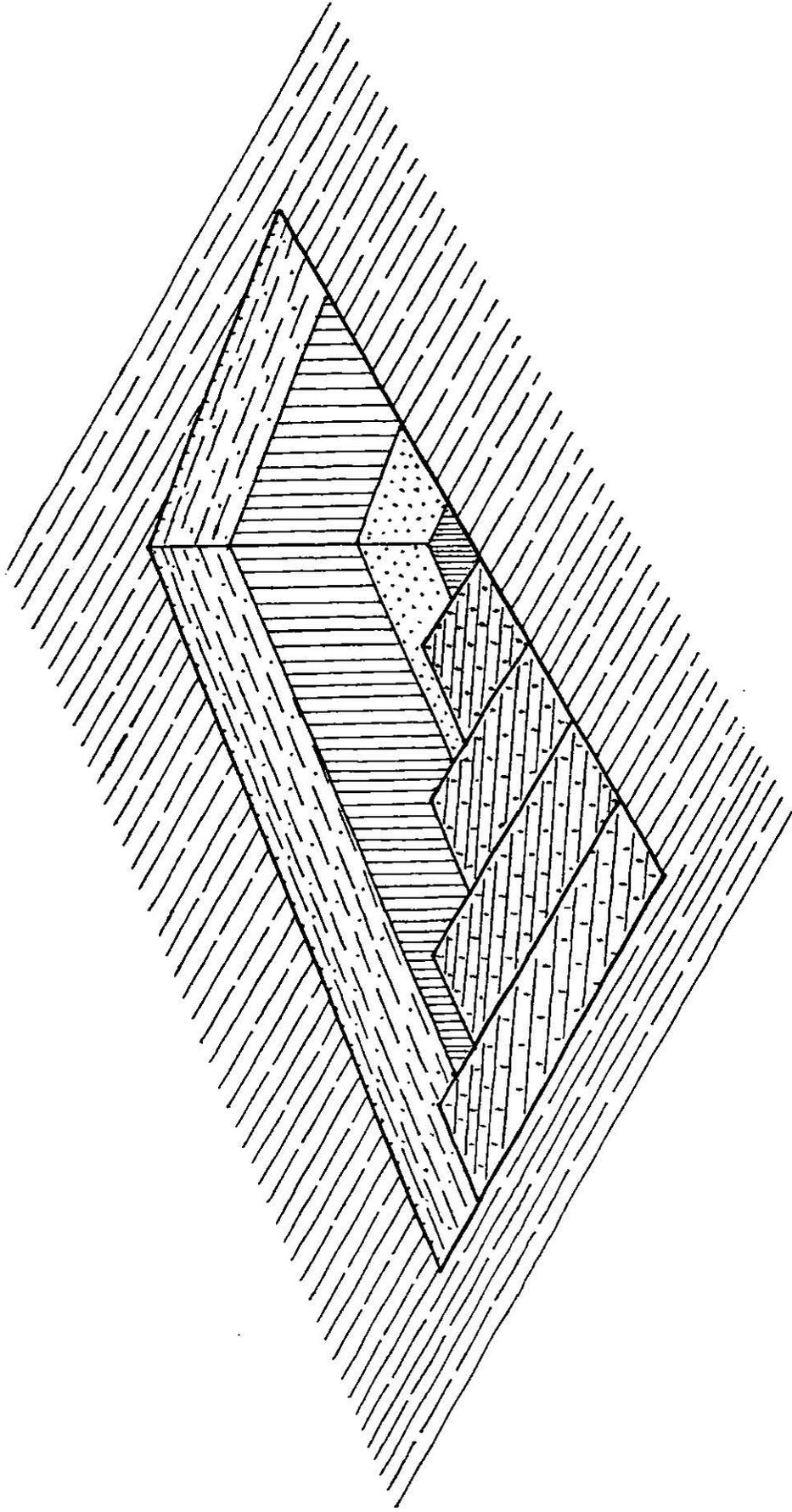


Figura 2. Perfil a cielo abierto. Ortiz 1990.

## 2.7. Uso consuntivo:

Aguilera (1980) considera que existen dos conceptos que muchas veces se confunden: evapotranspiración y uso consuntivo. La evapotranspiración: es la cantidad de agua utilizada por las plantas

para realizar sus funciones de transpiración, más el agua que se evapora de la superficie del suelo en el cual se desarrolla. El llamado uso consuntivo está formado por la evapotranspiración más el agua que se utiliza en las plantas en la formación de sus tejidos durante todo el ciclo vegetativo de los cultivos, uno por ciento del contenido de humedad, aproximadamente.

### 2.7.1. Factores que afectan al uso consuntivo:

En general el uso consuntivo depende de los siguientes factores:

- Hídricos.** calidad y disponibilidad de agua de riego, método de riego, eficiencia en el riego y drenaje.
- Edáficos.** Propiedades físicas y químicas del suelo como textura, estructura, materia orgánica, salinidad, profundidad, fertilidad, estratificación, etc.
- Vegetativos.** Variedad, especie, ciclo vegetativo, edad y características morfológicas de los estomas.
- Climáticos.** Temperatura, humedad relativa, precipitación, viento y radiación solar.

### 2.7.2. Métodos para estimar el uso consuntivo:

Los métodos para estimar el uso consuntivo, pueden clasificarse en métodos directos e indirectos (Figura 3). Los primeros proporcionan directamente el consumo total del agua requerida, utilizando para ello aparatos e instrumentos para la determinación. Los segundos en forma indirecta obtienen una estimación del consumo de agua a través de todo el ciclo vegetativo, mediante la utilización de fórmulas empíricas. Los métodos directos, son aplicables para zonas donde se tiene una agricultura establecida, proporcionando valores muy apegados a la realidad y sirven para ajustar los parámetros en los métodos empíricos. En los métodos indirectos, los investigadores han tratado de relacionar los diferentes datos climatológicos con la evapotranspiración logrando fórmulas que permiten estimarla con diferentes aproximaciones; algunas válidas únicamente para las condiciones particulares en las que fueron elaboradas.

#### 2.7.2.1. Determinación del uso consuntivo por el método de Blanney y Criddle.

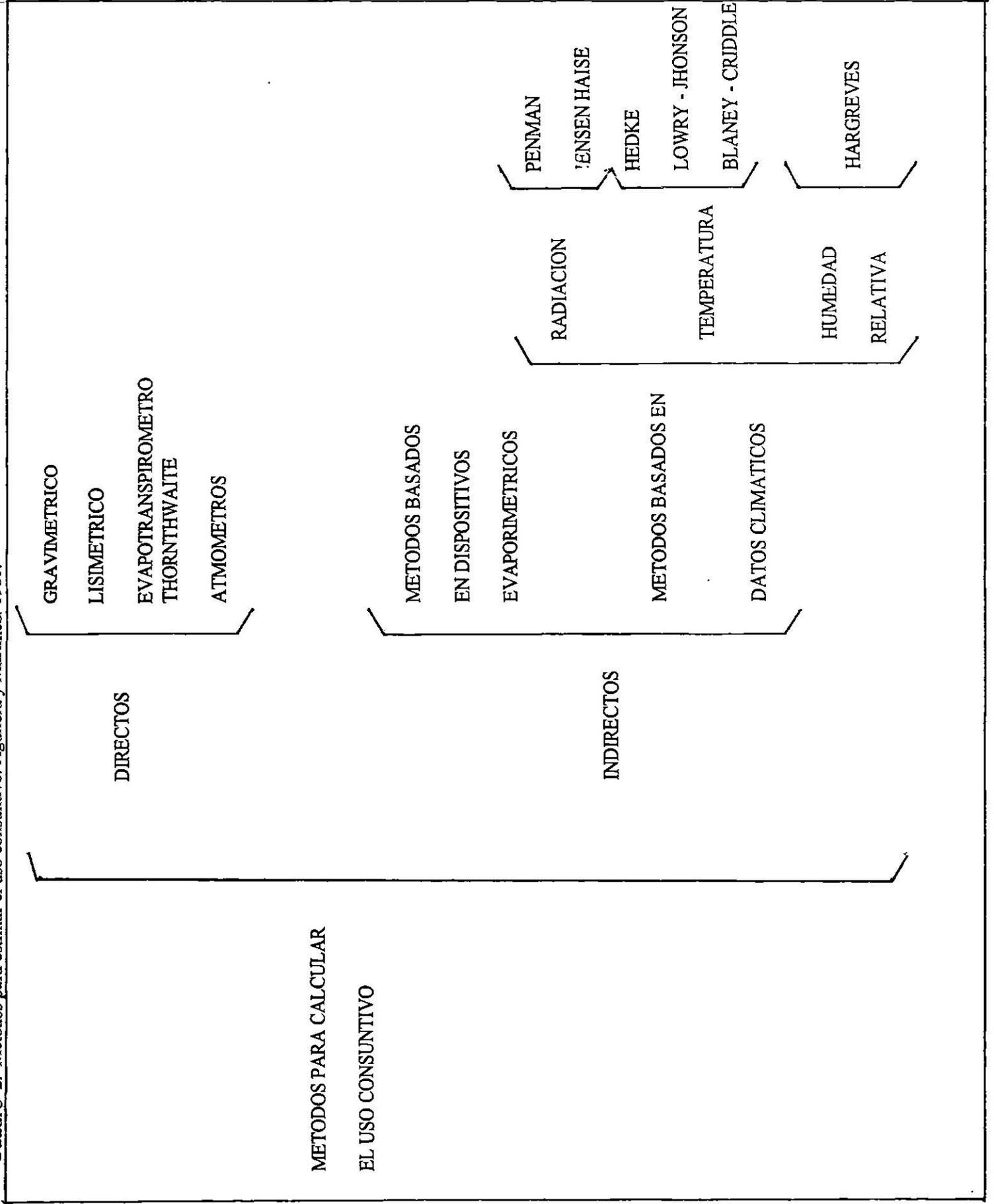
Rodriguez (1982) señala que Blanney y Criddle a través de muchas experiencias perfeccionaron su fórmula teórica, para el cálculo que ellos llamaron uso consuntivo de un cultivo en sus condiciones reales de producción, haciendo intervenir a los factores de:

- temperatura media mensual,
- porcentaje de horas luz,
- un coeficiente específico de cada cultivo.

Teóricamente el uso consuntivo (UC) es igual a la evapotranspiración del suelo + transpiración de las plantas + construcción de las plantas.

En la práctica se determina y denomina uso consuntivo simplemente como evapotranspiración, siendo el concepto que resume el *comportamiento del agua* en el sistema suelo-planta-agua.

Cuadro 2. Métodos para estimar el uso consuntivo. Aguilera y Martínez, 1980.



Desarrollando cuidadosamente la fórmula, se tiene:

$$UC = K \times F \quad (5)$$

donde : UC = Uso consuntivo cm.

K = Coeficiente que depende del tipo de cultivo y la proximidad del mar.

$$F = \sum_{1}^n f$$

n = número de veces.

F = factor climático.

$$f = p \frac{T+17.8}{21.8} \quad (6)$$

T = temperatura media mensual °C

p = porcentaje de horas de luz al mes, con respecto al total anual.

La fórmula original (5) reportaba valores muy elevados pues se determinó a partir de elementos de una zona de carácter desértico. Extendiéndola a otros climas se encontró un factor de corrección llamado corrección de temperatura  $K_t$  que establecía Penman con la siguiente formulación:

$$K_t = (0.031144) (t) + 0.2396 \quad (7)$$

donde t = temperatura media mensual en °C.

Los valores que se obtienen de la fórmula de Blanney y Criddle permiten datos correspondientes al uso consuntivo en períodos no menores de 30 días, y además como la constante K (coeficiente del cultivo) es variable por el mismo desarrollo del cultivo, puede dividirse o calcularse en su variación, es decir que puede calcularse el uso consuntivo en cualquier período que se necesite o se desee, la K toma la forma de  $K_d$ , siendo la expresión final de la fórmula original la siguiente:

$$UC = K d + (k_t) (f) \quad (8)$$

El  $K_d$  se obtiene en cada lugar (o lugares similares) a partir de una *curva del coeficiente de desarrollo* (figura 5A) que se confecciona para cada cultivo.

Este método se desarrolla de una manera simple, formando parte de una serie de intentos metodológicos indirectos y empíricos, donde se incluyen además los de: Thornthwaite, método racional de Hansen, Grassi-Christiansen y otros.

## 2.8. Teoría general del drenaje subterráneo:

Afirma Pizarro (1978) que las fórmulas se emplean, fundamentalmente, para el dimensionamiento de los sistemas de drenaje, ya que relacionan algunas de sus características (como espaciamiento y profundidad) con ciertas características de los suelos, cultivos, etc. Éstas últimas características son:

- Permeabilidad(K).

- Espesor de los estratos(D).
- Macroporosidad( $\mu$ ).
- Profundidad optima de la capa freática .
- Caudal procedente de lluvia, riego u otros orígenes.

Por otra parte De paco (1973) afirma, que con vistas a las aplicaciones prácticas podemos hacer dos grandes grupos en cuanto a las hipótesis que se establecen, correspondiendo unas al régimen permanente y otras al régimen variable.

### 2.8.1. Régimen permanente.

En el primero se supone que se ha llegado a un equilibrio entre la cantidad de agua que cae y la que es evacuada por los drenes, de modo que en cada punto permanece constante la profundidad del nivel freático a lo largo del tiempo. Tal sería el caso, una vez alcanzado el equilibrio de una zona en la que estuviese lloviendo siempre con una intensidad constante y la totalidad de las aguas llegue a la zona saturada. En la práctica no ocurre así, sino que, en determinado momento, estando la lámina de agua a una cierta profundidad, se produce una recarga del acuífero, bien sea por lluvia, pérdidas de percolación en el riego o cualquier otra causa, de tal forma que si el sistema de drenaje no tiene la capacidad de evacuación correspondiente, asciende el nivel hacia la superficie, hasta que posteriormente, por cese de la causa el nivel del agua desciende nuevamente. El estudio de éstas oscilaciones constituye el tema del régimen variable.

La fórmula general de Hooghoudt. N°9 para el cálculo de la separación entre drenes se explica a continuación. (Pizarro 1978)

$$L^2 = \frac{8K_2 id}{cd} + \frac{4K_1 h^2}{cd} \quad (9)$$

L = Espaciamiento entre drenes (m).

cd = percolación o coeficiente de drenaje (m/día).

$K_1$  = permeabilidad del estrato situado sobre los drenes (m/día).

$K_2$  = permeabilidad del estrato situado bajo los drenes (m/día)

h = altura de la capa freática en su punto medio, respecto al nivel de los drenes (m).

r = radio de los drenes (m)

d = espesor equivalente de Hooghoudt, que depende de L, D y r (radio de los drenes).

El primer sumando,  $8K_2 hd/cd$ , se refiere al movimiento del agua por debajo de los drenes, y el segundo,  $4K_1 h^2/R$ , al movimiento por encima. Para entender esto de una forma más intuitiva, se puede escribir la fórmula anterior de la siguiente manera:

$$cd = \frac{8K_2 hd}{L^2} + \frac{4K_1 h^2}{L^2} \quad (10)$$

cd se puede descomponer en dos partes:

- 1.- El caudal transportado por debajo de los drenes con un valor.

$$\frac{8K_2 hd}{L^2} \quad (11)$$

2.- El caudal transportado por encima, con un valor:

$$\frac{4K_1 h^2}{L^2} \quad (12)$$

En la aplicación de la fórmula se pueden presentar los casos siguientes:

a) Solo existe un estrato por encima de la capa impermeable. En este caso  $K_1 = K_2$  y la fórmula se modifica de la siguiente manera:

$$L^2 = \frac{4K h}{cd} (2d+h) \quad (13)$$

b) Dos estratos sobre la capa impermeable, con los drenes en la superficie, la separación de éstos dos estratos. Es el caso de la fórmula general.

c) Dos estratos sobre la capa impermeable, con los drenes situados en el estrato profundo. Se puede seguir aplicando la fórmula general, aunque no se puede asegurar su precisión.

d) Dos estratos sobre la capa impermeable, con los drenes situados en el estrato superior. en este caso no se puede aplicar la fórmula de Hooghoudt y hay que recurrir a la de Ernest.

En general, con ésta fórmula (como todas las de drenaje), se pretende calcular el espaciamiento "L" entre drenes, aunque puede utilizarse para calcular otras magnitudes.

El valor  $h = H-p$  se calcula como diferencia entre la profundidad de los drenes (H) y la profundidad optima de la capa freática. Ésta última está en función, entre otros factores, al cultivo. El valor de H puede ser objeto de varias limitaciones (topográficas, de suelos, etc.).

Para entender el significado de "d" (espesor equivalente de Hooghoudt), vamos a considerar el movimiento del agua por debajo del dren. Se puede considerar que las líneas de flujo son horizontales hasta llegar a una zona situada a  $0.7D$  del dren, según Hooghoudt. A partir de esa zona adoptan una forma radial, dirigiéndose hacia el dren y, a medida que la distancia a este es menor, la concentración de las líneas de flujo es mayor, aumentando la resistencia al movimiento. Para facilitar los cálculos, ésta mayor resistencia al flujo es equiparada por Hooghoudt a una disminución de espesor "D" del estrato mediante el cual se mueve el agua. Por ello, la transmisibilidad de ese estrato no es expresada por  $KD$ , sino por un valor menor,  $Kd$ , en el que "d" viene dado por la fórmula:

$$d = \frac{L}{8(R_h + R_r)} \quad (14)$$

$$R_h \text{ (resistencia horizontal)} = \frac{(L-1.4D)^2}{8DL} \quad (15)$$

$$R_r \text{ (resistencia radial)} = \frac{1}{\pi} \ln \frac{0.7D}{r} \quad (16)$$

donde: L y D tienen los significados ya conocidos y "r" es el radio del dren.

Los valores de "d" están tabulados en función de L, r y D. Mostrados en el cuadro 3A. En dicho apéndice se denomina  $h_0$  a lo que en el escrito figura como D.

### 2.8.2. Régimen variable.

Los criterios de drenaje correspondientes al régimen variable tienen que establecerse en términos dinámicos. Las fórmulas de régimen variable consideran el movimiento de la capa freática, tanto durante la carga del acuífero como durante la descarga. Las distintas situaciones que se pueden presentar se agrupan de la siguiente forma.

a) Criterio de época de riego. "N" días después de aplicado el riego, la capa freática deberá haber descendido hasta una profundidad "p". Normalmente se utiliza el valor  $N = 3$  días.

b) Criterio de época de lluvia. Se permite que como consecuencia de las precipitaciones, la capa freática se eleve hasta una profundidad "p" medida desde la superficie del terreno, con una frecuencia de "N" veces por año. Acostumbra a utilizarse el valor de  $N = 5$  veces por año.

Carga instantánea del acuífero. Si la cantidad de agua aportada, expresada en altura es "R", la capa freática se eleva a una altura  $h_0 = R/\mu$  y, a continuación, comienza a descender y al cabo de un tiempo "t" se encuentra a una altura " $h_t$ ". La fórmula de Glover-Dumm estudia ésta situación.

A partir de ciertas hipótesis, Glover, y después Dumm, estudiaron el movimiento de la capa freática, deduciendo la siguiente fórmula:

$$h_t = 1.16h_0 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} e^{-n^2\alpha t} \quad (17)$$

$$n = 1.3.5\dots$$

siendo:

$$\alpha = \frac{\pi KD}{\mu L^2} \quad (18)$$

donde:

$h_0$  = altura inicial sobre el nivel de los drenes (m)

$h_t$  = altura sobre el nivel de los drenes al cabo de un tiempo t (m)

$t$  = tiempo transcurrido desde que comenzó el descenso de la capa freática (días)  
 $KD$  = transmisibilidad ( $m^2 / día$ )  
 $\mu$  = macroporosidad.  
 $L$  = espaciamiento de los drenes (m).

Cuando el valor de  $\alpha t > 0.2$  el valor correspondiente a  $n = 3$  en la fórmula (17) es despreciable, quedando dicha fórmula:

$$h_t = 1.16 h_0 e^{-\alpha t} \quad (19)$$

sustituyendo en (18)  $\alpha$  por su valor según (19) se llega finalmente a, la fórmula de Glover-Dumm:

$$L^2 = \pi^2 \frac{KDt}{\mu} \cdot \frac{1}{\ln 1.16 \frac{h_0}{h_t}} \quad (20)$$

Determinación del valor de "D"

$$D = D_1 + D_2$$

$D_2$  es el espesor equivalente de Hooghoudt.

$D_1$  es la altura media sobre los drenes de la capa freática en su movimiento  $h_0$  a  $h_t$ . En la práctica suele utilizar el valor:

$$D_1 = \frac{h_0 + h_t}{2} \quad (21)$$

incluso cuando el valor de  $D_1$  es pequeño en comparación con  $D_2$ , se puede despreciar  $D_1$  y considerar  $D = D_2$

Drenes muy cerca de la capa impermeable

Cuando  $D_0 < 0.1 h_0$ , la fórmula (20) se simplifica notablemente:

$$L^2 = \frac{4.5tKh_0 h_t}{\mu(h_0 - h_t)} \quad (22)$$

a) Criterio de época de riego.

Una vez que se aplica el riego, una parte del agua se pierde infiltrándose a mayor profundidad, siempre que se aplica una dosis de riego  $I$ , hay una cantidad (cd) que alcanza la capa freática, ocasionando una elevación de su nivel.

Si se considera un riesgo aislado, la elevación freática que provoca puede no ser perjudicial. Pero el efecto acumulado de los distintos riegos de una temporada puede elevar excesivamente la capa freática. En este caso, el sistema de drenaje debe contrarrestar las aportaciones de agua, obligando a la capa freática a

cumplir el criterio de drenaje que se establezca. Se parte de una profundidad de drenes limitada, bien por razones topográficas (imposibilidad de profundizar más los colectores), edafológicas (presencia de capas

impermeables), constructivas (limitación de la máquina instaladora de drenes), etc. Por tanto, la profundidad de los drenes es casi un dato y la característica a calcular es el espaciamiento entre drenes. El cálculo se hace por tanteos sucesivos. Se comienza suponiendo un cierto espaciamiento. Se supone que al comenzar la temporada de riego, la capa freática es horizontal y ésta al nivel de los drenes. Se inicia el cálculo

estudiando el primer riego, que ocasionara una elevación  $R/\mu$  de la capa freática, con lo que la altura está sobre el nivel de los drenes:

$$h_0 = \frac{R}{\mu} \quad (23)$$

Si el intervalo entre riegos es de "n" días, antes de el segundo riego la capa freática habrá descendido hasta una cierta altura  $h_n$  que se calcula por la fórmula de Glover-Dumm. Al aplicarse el segundo riego, la capa freática se eleva nuevamente en una altura  $R/\mu$ . La nueva altura  $h_0$  será:

$$h_0 = h_n + \frac{R}{\mu} \quad (24)$$

De ésta manera, la capa freática oscila, elevando en  $R/\mu$  con cada riego y descendiendo en el período entre riegos a una altura que cada vez es mayor, debido a que cada vez es mayor la altura  $h$  respecto a los drenes. Este proceso continúa hasta que se alcanza una situación de equilibrio. En este momento y durante el resto de la temporada de riego, la capa freática oscila entre un máximo y un mínimo punto cuando se ha alcanzado ésta situación se calcula la altura freática "h" correspondiente a "N" días después del riego. Los valores de "h" y "N" deben cumplir con lo establecido en el criterio de drenaje de la época de riego.

Si el valor de "h" calculado es superior al admisible, el espaciamiento tanteado entre drenes es excesivo y se prueba con otro menor. Al contrario se hace si "h" es inferior al valor admisible. Continuando los tanteos se llega a determinar el espaciamiento correcto.

# MATERIALES

Teodolito  
Nivel Láser  
Tripiés  
Balizas  
Estadal  
Cinta métrica de 50 m.  
Cinta métrica de 3 m.  
Fichas  
Libreta de tránsito  
Receptor láser  
Extractores hidráulicos  
Cronómetros  
Sonda acústica  
Sonda eléctrica  
Barrena mecánica  
Tractor  
Pala mecánica  
Retroexcavadora  
Cuchilla de corte  
Zanjadora Vermeer T600D con recepción láser conectado al sistema hidráulico de levante  
Estacas  
Hilo nylon  
Tubo corrugado de polietileno  
Coples  
Tapones  
Conexiones en T  
Tubos metálicos de 10 pulgadas de diámetro

# METODO

## 3.1. Area de estudio.

### 3.1.1. Localización .

El área de estudio se encuentra ubicada en el Municipio de Valle Hermoso Tamaulipas, situada con respecto a las coordenadas terrestres del paralelo 25° 59' latitud Norte y el meridiano 98° 06' longitud Oeste; con 30 metros de altura media sobre el nivel del mar (INEGI 1979) (figura 4).

### 3.1.2. Clima.

La temperatura media anual oscila en los 23.2 °C teniendo un promedio de máxima media anual de 29.1 °C y una mínima media anual de 17.4 °C. Presentando una precipitación anual de 425.5 mm y una evaporación anual de 1840.3 mm ( INEGI 1979).

### 3.1.3. Cultivo.

Los principales cultivos del área bajo riego en el Municipio de Valle Hermoso Tamaulipas son: sorgo, maíz y trigo con una gran diversidad de variedades. En el presente lote se cultiva el maíz de la variedad PIONEER -3428. con fecha de siembra de Enero a Febrero y cosechada a mediados de Julio, es decir que tiene una duración aproximada de 180 días. Al término del ciclo se realizan labores de integración de residuos de cosecha.

### 3.1.4. Información básica.

La información básica requerida en el presente estudio, consiste de la información de cartas edafológicas, geológicas y topográficas publicadas por el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática a escala 1 : 50,000 (INEGI 1979).

## 3.2. METODOLOGIA.

### 3.2.1. Reconocimiento del área.

Como primer etapa en el diseño de drenaje agrícola subterráneo fue necesario realizar un recorrido en el área de interés observándose los siguientes aspectos: topografía, prácticas de riego, drenes colectores superficiales, tipo de suelo, cultivos, almacenes y conductos de agua cercanos al predio.

### 3.2.2.-Levantamiento topográfico. (planimetría y altimetría).

A) Planimetría. Se realizó un levantamiento topográfico perimetral del área en estudio, utilizando el método de puntos accesibles (cuadro 4A) delimitando sus colindancias y accesos. Posteriormente se trazo una retícula con una separación de 100 por 100 m., es decir, un punto por hectárea (figura 1A).

B) Altimetría. Se tomaron las elevaciones correspondientes a nivel superficial en cada punto de la retícula (figura 2A) calculando las curvas a nivel de la superficie y las elevaciones de los drenes colectores superficiales.

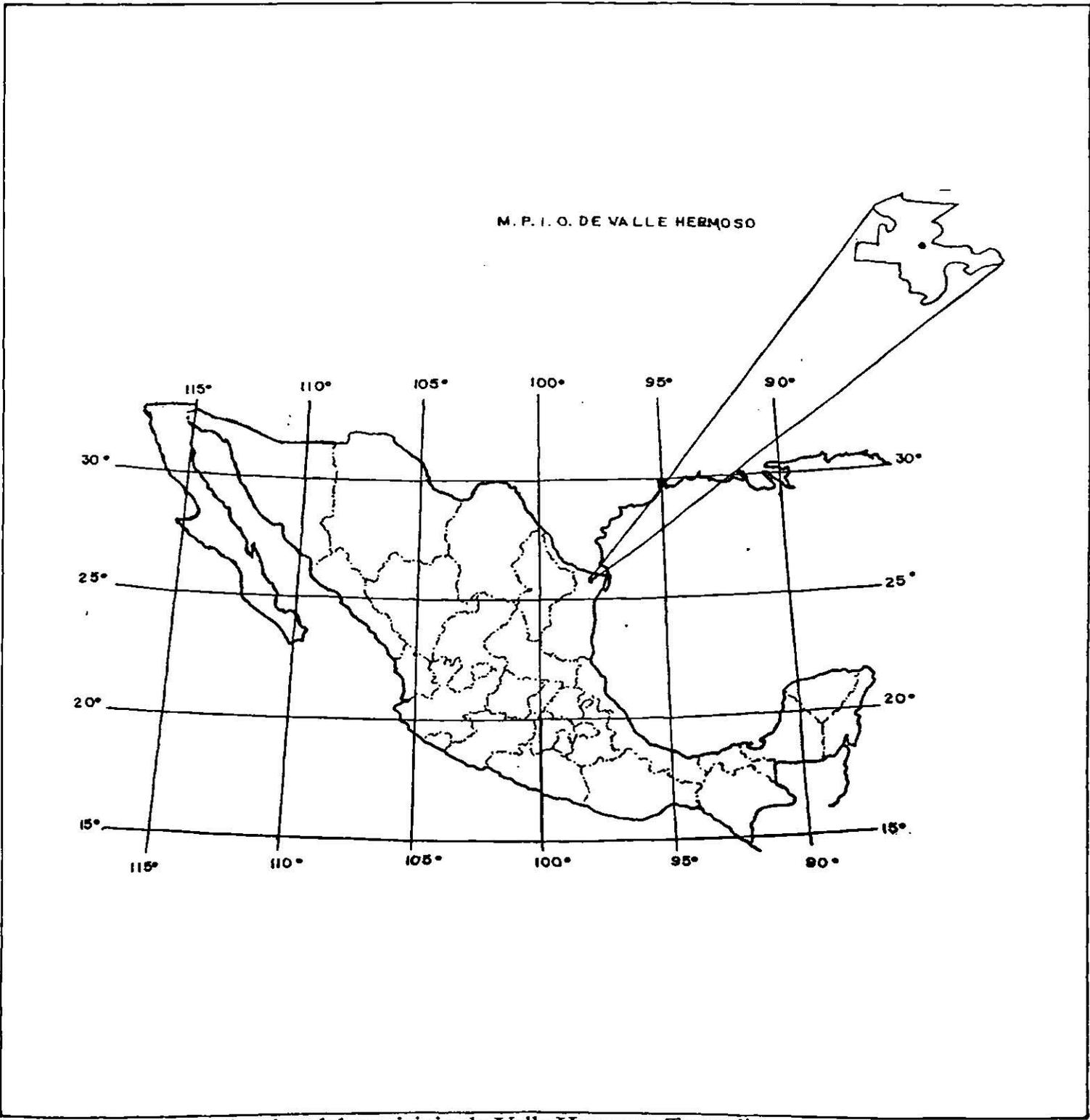


Figura 3. Mapa de localizacion del municipio de Valle Hermoso Tamaulipas.

C) Perforaciones. En cada punto de la retícula se perforó con la barrena mecánica a una profundidad de 240 cm. a un diámetro de 10.16 cm. desazolados con los cubos, hasta dejarlos totalmente libres de lodo en su interior.

### 3.2.3. Estimación de la conductividad hidráulica.

En los pozos de observación establecidos, se midió el incremento del nivel freático con respecto al tiempo utilizando el procedimiento del agujero de barrena propuesto por Hooghoudt y Ernest para determinar la conductividad hidráulica en el campo explicando el procedimiento en los siguientes puntos :

#### 3.2.3.1. Datos de campo

A) 24 horas después de haber desazolado el pozo se midió el nivel freático con respecto a la superficie (figura 1) presentando en ella la simbología utilizada..

B) Se midió la profundidad del pozo de observación y se abatió el agua, con un extractor (figura 4).

C) Se tomó la primer lectura a cero minutos y a partir de ésta se checa la recuperación del nivel normal del manto freático con ciertos intervalos, como se explica a continuación. Ejemplo de toma de datos en el campo del (Pozo A-1):

P.N.F. = 203 cm.    P.P = 247 cms.

P.N.F = Profundidad de nivel freático.

Tiempo.	I.N.F.	h.
S	Cm.	Cm.
000 =	243	40
120 =	242	39
120 =	242	39
300 =	238	35
300 =	236	33
480 =	233	30
600 =	229	26
600 =	225	22

I.N.F = Incremento del nivel freático.

P.P = Profundidad del pozo.

Cm = centímetros.

S = Segundos.

h = Media de incremento en centímetros.

h = P.N.F. - I.N.F.

#### 3.2.3.2. Procedimiento para el cálculo de gabinete.

La fórmula utilizada para calcular la conductividad hidráulica está influenciada por la profundidad de la capa impermeable, encontrándose muy cerca a la que se instalaron los drenes por consiguiente se utilizó la siguiente fórmula :

Fórmula de Ernest para estimar la conductividad hidráulica en el caso de  $S = 0$ .

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

Donde:

K = Conductividad hidráulica (m/día).

H = Distancia en centímetros entre el nivel freático y el fondo del pozo

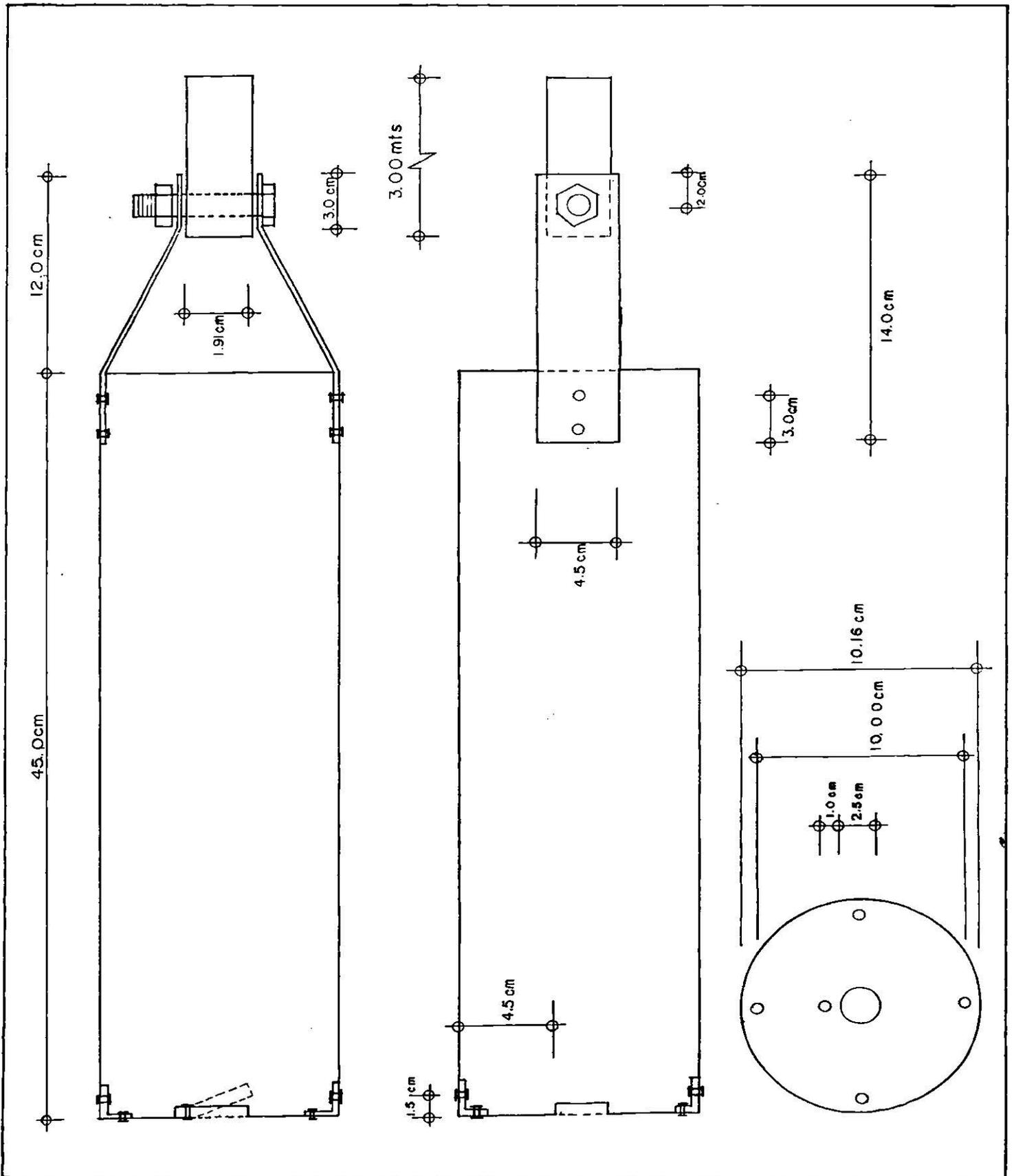


Figura 4. Extractor hidraulico. Diseñado por Herrera D. Ulysses

$\Delta t$  = Tiempo acumulado en segundos (s)  
 $r$  = Radio en centímetros  
 $h$  = Media del incremento en centímetros  
 $\Delta h$  = Incremento neto  
 $s$  = Capa impermeable.

Sustituyendo los valores del ejemplo del pozo A-1 se obtiene:

$$H = 44 \text{ cm} \qquad H = \text{P.N.F.} - \text{P.P.}$$

$\Delta t = 2520 \text{ s}$   
 $r = 5.08 \text{ cm}$   
 $h = 31 \text{ cm}$   
 $\Delta h = 18 \text{ cm}$

$h_o$  = Primer lectura - PNF. = 40 cm  
 $h_n$  = Última lectura - PNF. = 22 cm

PNF. = Profundidad del nivel freático  
 $h = (h_o + h_n) / 2$   
 $\Delta h = (h_o - h_n)$

$$h = (40 + 22) \div (2) = 31 \text{ cm}$$

$$h = 31 \text{ cm}$$

$$\Delta h = 40 - 22 = 18 \text{ cm}$$

$$\Delta h = 18 \text{ cm}$$

$$K = \left( \frac{(4000)(5.08)^2}{(44 + (20 \times 5.08))(2 - (31 \div 44))(31)} \right) (18 \div 2520)$$

$K = 0.174$  metros por día.

### 3.2.4. Construcción de los planos de Isobatas e Isohyphas.

La elevación registrada en cada uno de los pozos de observación del nivel freático fue capturada, analizada y procesada en la computadora para determinar las curvas equipotenciales de los diferentes planos de interés. Utilizando el método de interpolación de Kriging para el trazo de los planos de isobatas e isohypsas (Torres, 1991), el cual consiste en efectuar interpolaciones o extrapolaciones por medio de un estimador insesgado y con mínima varianza, partiendo de los puntos o datos.

#### 3.2.4.1. Método de interpolación.

El método de interpolación que se utilizó fue el método de Kriging y consiste en tomar el mejor estimador lineal insesgado de la cantidad que se pretende estimar. Las bases matemáticas fueron desarrolladas por Hass y Villiax, y la estimación y trazo de las isoclinas se realizaron mediante el paquete de computación surfer.

#### 3.2.4.2. Plano de isobatas.

En la elaboración del plano de isobatas fue necesario tomar las elevaciones del nivel freático con respecto a

la superficie, localizando las áreas donde el agua subterránea alcanza profundidades muy someras, así como áreas donde el agua no es problema debido a la profundidad en la que se encuentra (figura 3A).

### 3.2.4.3. Plano de isohypsas.

En la realización del plano de isohypsas es necesario tomar dos tipos de elevaciones: 1) la profundidad a la que se encuentra el agua de la superficie, 2) la elevación de la superficie en cada pozo de observación con respecto al nivel del mar o su semejante a un banco de nivel previamente establecido, determinando así las líneas equipotenciales, la dirección de las líneas de corriente de las aguas freáticas, zonas con diferente gradiente hidráulico así como zonas con aportaciones o sumideros (figura 4A).

### 3.2.5. Perfiles a cielo abierto.

Los estudios de suelo son importantes para el diseño de drenaje, debido a que la profundidad de los drenes dependen del espesor y profundidad de los diferentes estratos de suelo. Se practica una excavación rectangular en el suelo de 60 cm de ancho, 150 cm de largo y 210 cm. (figura 2), de profundidad con la finalidad de exponer los horizontes que nos presenta el subsuelo, se mide el espesor de cada uno de ellos, color, textura al tacto, reacción al ácido clorhídrico, reacción al agua oxigenada y recolección de muestras de cada horizonte presente.

### 3.2.6. Determinación del uso consuntivo.

La cantidad de agua consumida por evaporación y transpiración en un cultivo durante su época de desarrollo se conoce como uso consuntivo del agua, dividida entre el número de días que dura el cultivo, se obtiene el uso consuntivo diario, por lo general, se expresa en centímetros por hectárea o por la profundidad en centímetros este tipo de consumo sirve para valorizar y determinar el suministro de agua que se requiere durante el ciclo. En su determinación se utilizó el método propuesto por Blaney y Criddle (cuadro 1).

Cuadro 1.- Tabla para el cálculo del uso consuntivo.

latitud = 25 ° Norte. altitud = 30 m.s.n.m.		cultivo = Maíz. estado = Tamaulipas.				municipio = Valle Hermoso.					
						Columnas					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Enero	15	1.500	7.53	11.33	0.71	8.04	0.85	0.48	3.86	3.74	
Febrero	16	1.55	7.13	11.05	0.74	8.18	0.85	0.65	5.32	5.16	
Marzo	16	1.55	8.39	13.01	0.74	9.63	0.85	0.90	8.66	8.40	
Abril	25	1.96	8.61	16.90	1.02	17.24	0.85	1.06	18.27	17.72	
Mayo	29	2.15	9.32	20.01	1.14	22.81	0.85	1.02	23.27	22.57	
Junio	30	2.19	9.22	20.22	1.17	23.66	0.85	0.91	21.53	20.88	
						92.52	Total =	80.91	78.47		

$$\text{UCD} = \frac{\text{UCA}}{\text{No. días del cultivo}} = \frac{78.47}{180} = 0.436 \text{ cm / día}$$

UCD = Uso consuntivo diario.

F = suma (f) = 92.52

UCA = Uso consuntivo acumulado.

K' = Suma (U.C.T.) / F = 80.91 / 92.52 = 0.875

UCD = 0.436

C = Kg / K' = 0.85 / 0.87 = 0.97

Donde :

- 1.- Total de meses en que dura el ciclo del cultivo.
- 2.- Temperatura en grados centígrados para los meses del cultivo.
- 3.- Es la siguiente ecuación ;  $(\text{°C} + 17.8) / 21.8$
- 4.- Porcentaje de horas luz o insolación en el día para cada mes del año en relación al numero total en un año ( p ), (Castilla 1965).
- 5.- Es la multiplicación de la columna 3 x la columna 4:  $f = ((p) (\text{°C} + 17.8)) / 21.8$ .
- 6.- Presenta la siguiente ecuación;  $k = (.0311 \times \text{°C}) + 0.240$ .
- 7.- Es el producto de las columnas 5 y 2.
- 8.- Coeficiente global (Posada 1969, Aguilera 1980).
- 9.- Coeficiente de desarrollo Kc. (Aguilera 1980).
- 10.- Es el producto de las columnas 7 y 9.
- 11.- Es el producto de la columna 10 y C.

### 3.2.7. Cálculo del coeficiente de drenaje:

$$\text{LAD} = \frac{(\text{Hs. C.C.} - \text{Hs. P.M.P.})(\rho)(P)}{100} = \frac{(36 - 20)(1.2)(90)}{100} = 17.28 \text{ cm / m.}$$

LAD = 17.28 cm / m.

donde:

Hs. C.C. = Humedad del suelo a capacidad de campo

Hs. P.M.P. = Humedad del suelo en punto de marchitez permanente

$\rho$  = Densidad aparente (g / cm<sup>3</sup>)

P = Profundidad radicular efectiva (cm)

Afirmaciones.- Suelo arcilloso.

Lámina de agua disponible = 17.28 (cm)

Riego por superficie % de abatimiento = 60

Cultivo = Maíz

Profundidad radicular = 0.90 m

#### 3.2.7.1. Cálculo de la lámina de agua disponible :

Suelo arcilloso.

Lámina de agua disponible = 17.28 cm / m

Porcentaje de abatimiento = 60

Profundidad radicular = 90 cm

LAD = lámina de agua disponible. LA = lámina de agua. PR = profundidad radicular.

$$LAD = (LA) (PR) = ( 17.28 \text{ cm / m } ) ( .90 \text{ m } ) = 15.55 \text{ cm}$$

$$LAD \text{ al } 60 \% \text{ de abatimiento.} = (15.55 \text{ cm } ) ( .60 ) = 9.33 \text{ cm}$$

$$LAD \text{ al } 60 \% \text{ de abatimiento.} = 9.33 \text{ cm.}$$

### 3.2.7.2. Cálculo de la lámina de riego:

LR = Lámina de riego. Eficiencia del riego. = 60%

$$LR = \frac{LAD \text{ al } 60\%}{\text{Eficiencia del riego.}} = \frac{9.33 \text{ cm}}{0.60 \%} = 15.55 \text{ cm}$$

$$LR = 15.55 \text{ cm}$$

### 3.2.7.3. Cálculo del intervalo entre riegos:

I = Intervalo entre riegos.

$$I = \frac{LAD \text{ al } 60\%}{UCD} = \frac{9.33 \text{ cm}}{0.436 \text{ cm / día}} = 21.39$$

$$I = 21 \text{ días}$$

### 3.2.7.4. Cálculo de la lámina de sobreriego:

LSr = Lámina de sobreriego. CEr = Conductividad eléctrica del agua de riego.

CEp = Conductividad eléctrica del agua freática.

$$LSr = \frac{C_{Er}}{C_{Ep} - C_{Er}} ( LR ) = \frac{1000}{7770 - 1000} ( 15.55 ) = 2.28 \text{ cm}$$

$$LSr = 2.28 \text{ cm.}$$

### 3.2.7.5. Cálculo de la lámina de agua a drenar:

Ld = Lámina de agua a drenar. LRT = Lámina de riego total.

$$LRT = Lr + LSR = 15.55 \text{ cm} + 2.28 \text{ cm} = 17.84 \text{ cm}$$

$$LRT = 17.84 \text{ cm.}$$

$$Ld = LRT - LAD \text{ al } 60\% = 17.84 \text{ cm} - 9.33 \text{ cm} = 8.51 \text{ cm.}$$

$$Ld = 8.51 \text{ cm.}$$

### 3.2.7.6. Cálculo del coeficiente de drenaje:

Cd = Coeficiente de drenaje.

$$Cd = Ld \div I = 8.51 \text{ cm} \div 21 \text{ días.} = 0.405 \text{ cm / día.}$$

$$Cd = 4.05 \text{ mm / día.}$$

$$Cd = 0.405 \text{ cm / día.} = 0.00405 \text{ m / día.}$$

### 3.2.8. Cálculo del espaciamiento entre drenes de 4 ", Para el caso del régimen permanente (fórmula de Hooghoudt)

Para el caso del régimen permanente (fórmula de Hooghoudt) se diseñara por la siguiente fórmula:

$$L^2 = \frac{(8) (K_2) (h) (d)}{cd} + \frac{(4) (K_1) (h^2)}{cd}$$

donde :

L = Espaciamiento entre drenes (m).

K1 y K2 = Conductividad hidráulica del suelo con diferentes estratos de suelo (m / día).

h = Altura del nivel freático con respecto a los drenes (m).

d = Espesor equivalente de Hooghoudt, que depende de L, h, r.

Cd = Coeficiente de drenaje (m / día).

r = Radio de el dren (m).

Sustituyendo los valores correspondientes en la fórmula antes descritas queda:

**Primer tanteo .**

$$L = 20 \text{ m.}$$

$$K_1, K_2 = K = 0.225 \text{ m / día.}$$

$$h = 0.90 \text{ m.}$$

$$d = 0.802 \text{ m.}$$

$$Cd = 0.00405 \text{ m / día.}$$

$$r = 0.050 \text{ m.}$$

$$20^2 = \frac{(8) (0.225) (0.90) (0.802)}{0.00405} + \frac{(4) (0.225) (0.90)^2}{0.00405}$$

$$20^2 = 320.8 + 180 = 500.8$$

$$20 = \sqrt{(500.8)}$$

$$20 \neq 22.37 \text{ m.}$$

**Segundo tanteo.**

$$L = 22 \text{ m.}$$

$$K_1, K_2 = K = 0.225 \text{ m / día.}$$

$$h = 0.90 \text{ m.}$$

$$d = 0.81 \text{ m.}$$

$$Cd = 0.00405 \text{ m / día.}$$

$$r = 0.050 \text{ m.}$$

$$22^2 = \frac{(8)(0.225)(0.90)(0.81)}{0.00405} + \frac{(4)(0.225)(0.90)^2}{0.00405}$$

$$22^2 = 324 + 180 = 504$$

$$22 = \sqrt{504}$$

$$22 \cong 22.4 \text{ m.}$$

$$22 = 22 \text{ m.}$$

La separación entre drenes de 4" de diámetro es de 22 metros. Los drenes de mayor diámetro solo servirán para conducir el agua hasta llegar a los drenes colectores superficiales.

### 3.2.9. Calculo del espaciamiento entre drenes de 4", para el caso del régimen variable (fórmula de Glover y Dumm).

$$L^2 = \frac{\pi^2 K D t}{\mu \ln \left( \frac{4}{\pi} \left( \frac{H}{ht} \right) \right)}$$

donde:

H = Altura inicial sobre el nivel de los drenes (m).

ht = Altura inicial sobre el nivel de los drenes al cabo de un tiempo t (m).

t = Tiempo transcurrido desde que comenzo el descenso del nivel freático (días)

KD = Trasmisibilidad (m<sup>2</sup> / día).

μ = Macro porosidad.

L = Espaciamiento entre drenes (m).

Para iniciar el cálculo de L espaciamiento entre drenes se cumplió el criterio de drenaje, correspondiente al cultivo de maíz; tres días después del riego el nivel del agua deberá estar a una profundidad (P) tal que no afecta al sistema radicular de la planta siendo para este de 0.90 m. Los drenes se instalarán a una profundidad (H) promedio de 1.80 m, que es la máxima que permite la topografía del área. Por lo tanto la capa freática deberá estar a una altura máxima sobre los drenes de:

$$h_b = H - P.$$

$$h_b = 1.80 - 0.90 = 0.90 \text{ m.}$$

determinación de D; donde  $D = D_1 + D_2$ ;  $D_2$  = espesor equivalente de Hooghoudt.

$$D_1 = \frac{h_o + h_n}{2}$$

Cálculo utilizando el criterio de riego: se inició el cálculo estudiando el primer riego, que ocasiona una elevación del nivel freático  $h = R / \mu$ , con lo que la altura de este sobre el nivel de los drenes. Donde  $h$  es igual a la altura del agua sobre los drenes expresado en (m) y  $R$  es la lámina drenable sin incluir la lámina de sobre riego.

$h_o = R / \mu$  en el primer riego.

$h_o = h_n = R / \mu$ , para el segundo riego.

$n$  = días antes del riego.

### Primer tanteo:

Datos utilizados en los cálculos:

Espaciamiento de  $L = 20$  m.

Radio ( $r$ ) = 0.05 m.

$h_b = 0.90$  m.

$K = 0.225$  m / día.

$\pi = 3.141593$

$R = 0.622$  m.

$\mu = 0.07$

$D_2 = 0.802$  (cuadro 3A)  $L, D, r, (h_b)$

Primer riego.

$h_o = R / \mu = 0.622 / 0.07 = 0.89$  m.

$h_o = 0.89$  m.

$$D_1 = \frac{h_o + h_n}{2} = \frac{(0.89) + 0}{2} = 0.44 \text{ m.}$$

$D_1 = 0.44$  m.

$D = D_1 + D_2 = 0.44 + 0.802 = 1.25$  m.

$D = 1.25$  m.

$$\alpha = \frac{(\pi)^2(K)(D)}{(\mu)(L)} = \frac{(3.141593)^2(0.225)(1.25)}{(0.07)(20)^2} = \frac{2.78}{28}$$

$\alpha \approx 0.099$

$\alpha t \approx (0.099)(21)$ , donde  $t$  es el intervalo entre riegos

$\alpha t \approx 2.079$

$\alpha t \approx 2.079 > 0.2$ , por lo tanto se aplica la siguiente fórmula;

$$h_t = (1.16) (h_0) ( e^{-\alpha t} )$$

$$h_{21} = (1.16) (h_0) ( e^{-(0.099)(21)} )$$

$$h_{21} = (1.16) (h_0) ( e^{-2.079} )$$

$$h_{21} = (1.16) (0.125) (h_0)$$

$$h_{21} = (0.145) (h_0)$$

$$h_{21} = (0.145) (0.89)$$

$$h_{21} = 0.129$$

Se construye la siguiente tabla de riegos subsecuentes:

Nº de riegos	1	2	3	4
h antes del riego	0.00	0.129	0.146	0.149
h despues del riego	0.89	1.010	1.030	1.030

$$h \text{ antes del 1 riego} = 0.00$$

$$h \text{ despues del 1 riego} = 0.89$$

$$h \text{ antes del 2 riego} = (0.145) (0.89) = 0.129$$

$$h \text{ despues del 2 riego} = (0.89) + (0.129) = 1.010$$

$$h \text{ antes del 3 riego} = (0.145) (1.010) = 0.146$$

$$h \text{ despues del 3 riego} = (0.146) + (0.89) = 1.030$$

$$h \text{ antes del 4 riego} = (0.145) (1.030) = 0.149$$

$$h \text{ despues del 4 riego} = (0.149) + (0.89) = 1.030$$

ya que el nivel freático se estabilizó en el cuarto riego se calcula para h en tres días, siendo el tiempo máximo que resiste el cultivo en presencia del nivel freático elevado.

$$h_t = (1.16) (h_0) ( e^{-\alpha t} )$$

$$h_{3'} = (1.16) (h_0) ( e^{-(0.099)(3)} )$$

$$h_{3'} = (1.16) (h_0) ( e^{-0.297} )$$

$$h_{3'} = (1.16) (0.743) (h_0)$$

$$h_{3'} = (0.862) (h_0)$$

$$h_{3'} = (0.862) (1.03)$$

$$h_{3'} = 0.88 \text{ m}$$

Esta altura de  $h_3 = 0.88$  m es menor a la admisible  $h_3 = 0.90$  m para el cultivo de maíz. Por lo tanto el espaciamento  $L = 20$  m es ligeramente pequeño. Se efectuara un segundo tanteo proponiendo una separacion de 21 m entre drenes.

**Segundo tanteo:**

Datos utilizados en los cálculos:

Espaciamento de  $L = 21$  m

Radio ( $r$ ) = 0.05 m.

$h_3 = 0.90$  m.

$K = 0.225$  m / día.

$\pi = 3.141593$

$R = 0.622$  m.

$\mu = 0.07$

$D_2 = 0.810$  (cuadro 3A)  $L, D, r, (h_3)$

Primer riego.

$h_0 = R / \mu = 0.622 / 0.07 = 0.89$  m.

$h_0 = 0.89$  m.

$$D_1 = \frac{h_0 + h_n}{2} = \frac{(0.89) + 0}{2} = 0.44 \text{ m.}$$

$D_1 = 0.44$  m.

$D = D_1 + D_2 = 0.44 + 0.810 = 1.25$  m.

$D = 1.25$  m.

$$\alpha = \frac{(\pi)^2(K)(D)}{(\mu)(L)} = \frac{(3.141593)^2(0.225)(1.25)}{(0.07)(21)^2} = \frac{2.78}{30.87}$$

$\alpha = 0.090$

$\alpha t = (0.090)(21)$ , donde  $t$  es el intervalo entre riegos

$\alpha t = 1.890$

$\alpha t = 1.890 > 0.2$ , por lo tanto se aplica la siguiente fórmula;

$$ht = (1.16) (h_0) ( e^{-\alpha t} )$$

$$h_{21} = (1.16) (h_0) ( e^{-(0.090)(21)} )$$

$$h_{21} = (1.16) (h_0) ( e^{-1.890} )$$

$$h_{21} = (1.16) (0.151) (h_0)$$

$$h_{21} = (0.175) (h_0)$$

$$h_{21} = (0.175) (0.89)$$

$$h_{21} = 0.156 \text{ m}$$

Se construye la siguiente tabla de riegos subsecuentes:

Nº de riegos	1	2	3	4
h antes del riego	0	0.155	0.182	0.187
h despues del riego	0.89	1.04	1.07	1.07

$$h \text{ antes del 1 riego} = 0$$

$$h \text{ despues del 1 riego} = 0.89$$

$$h \text{ antes del 2 riego} = (0.175) (0.89) = 0.155$$

$$h \text{ despues del 2 riego} = (0.89) + (0.155) = 1.04$$

$$h \text{ antes del 3 riego} = (0.175) (1.04) = 0.182$$

$$h \text{ despues del 3 riego} = (0.182) + (0.89) = 1.07$$

$$h \text{ antes del 4 riego} = (0.175) (1.07) = 0.187$$

$$h \text{ despues del 4 riego} = (0.187) + (0.89) = 1.07$$

ya que el nivel freático se estabilizó en el cuarto riego se calcula para h en tres días, siendo el tiempo máximo que resiste el cultivo en presencia del nivel freático elevado.

$$h_t = (1.16) (h_0) ( e^{-\alpha t} )$$

$$h_3 = (1.16) (h_0) ( e^{-(0.090)(3)} )$$

$$h_3 = (1.16) (h_0) ( e^{-0.27} )$$

$$h_3 = (1.16) (0.763) (h_0)$$

$$h_3 = (0.885) (h_0)$$

$$h_3 = (0.885) (1.07)$$

$$h_3 = 0.94 \text{ m.}$$

Esta altura de  $h_3 = 0.94 \text{ m.}$  es mayor a la admisible  $h_3 = 0.90$  para el cultivo de maíz. Por lo tanto el espaciamiento  $L = 21 \text{ m.}$  es ligeramente grande, de lo que se deduce  $L$  sera un valor entre los 20 y 21 m.

# RESULTADOS

## 4.1. Resultados de la conductividad hidráulica.

Los resultados obtenidos de las pruebas de conductividad hidráulica por el método de Auger Hote. Muestran que la conductividad hidráulica es afectada fuertemente en la parte Este del área estudiada por efecto de la cercanía con el dren colector superficial. Registrando conductividades hidráulicas de 0.03 a 0.12 m / día, clasificada por O'Neal y Uhland como muy lenta, siendo las estaciones : C1, D1, E1, F1, G1, H1, I1, A2, C2, D2, E2, F2, G2, H2, I2, J2, el resto de las estaciones registran conductividades que van desde 0.120 a 0.480 m / día, clasificada como lenta.

Los drenes colectores superficiales localizados al Norte y al Sur del área no alcanzan a modificar o alterar a la conductividad hidráulica debido principalmente a su poca profundidad.

La conductividad hidráulica promedio fue de 0.225 m / día, siendo la más baja registrada de 0.015 m / día, localizada en la parte Este junto al dren colector superficial, y la mas alta de 0.480 m / día clasificada como lenta, localizada en la parte Oeste del área.

Para obtener la media en los datos registrados, fue necesario tomar cierto criterio. Es decir, de los 65 datos sólo se tomaron aquellos que no estuvieron influenciados por los drenes colectores, resultando 46 los valores no afectados, la media obtenida de estos datos se utilizó en el cálculo de la separación de los drenes

## 4.2. Resultados de los planos de isobatas e isohypsas .

El plano de isobatas (figura 3A) nos muestra que la parte central del área tiene mayores problemas debido a la topografía que presenta las características de una microcuenca endorreica, el nivel freático el cual fluctua entre 0.87 m y 1.19 m con respecto a la superficie, es el más crítico registrado en esta área, tomando en cuenta que los datos se registrarón en la época de estiaje (sequia). En los puntos cercanos a los drenes colectores superficiales la profundidad de nivel freático registrada fue mayor debido a la influencia de estos

En la (figura 4A), plano de isohypsas se aprecia que las líneas equipotenciales se presentan en un sentido paralelo a la parte Oeste del área y las líneas de corriente tienden en un sentido de Oeste a Este lo que al comparar el plano de curvas a nivel con el de isohypsas podemos asumir que la recarga proviene de la parte alta del terreno hacia la parte baja y central del área, además se aprecia la influencia de los drenes colectores superficiales con el nivel del agua en el subsuelo al presentar mayor profundidad .

## 4.3. Resultados de uso consuntivo y coeficiente de drenaje.

La determinación del uso consuntivo se calculó, por el método de Blaney - Criddle, resumiendo que la necesidad de agua o uso consuntivo diario para el cultivo de maíz es de 0.423 mm / día en los meses de Enero a Junio

Con los datos de uso consuntivo diario, lámina de riego, lámina de sobreriego, y la lámina de agua a drenar, se llegó al coeficiente de drenaje, utilizado a su vez en el cálculo para la separación de los drenes. El resultado de dicho coeficiente es de 0.00405 m / día.

#### 4.4. Resultado del cálculo de espaciamiento entre drenes.

Los resultados obtenidos en el cálculo del espaciamiento entre drenes de 4 " de diámetro por los métodos de régimen permanente (fórmula de Hooghoudt) y régimen variable (fórmula de Glover y Dumm), están regidos directamente por la conductividad hidráulica y el coeficiente de drenaje que presenta esta área. El espaciamiento obtenido fue de 22.00 m y 21.00 m respectivamente por los métodos antes mencionados. Las fórmulas de drenaje utilizadas para este diseño dan la impresión de ser muy exactas, siendo en realidad fórmulas que requieren de ciertas suposiciones y condiciones para que funcionen con mayor exactitud, en la práctica por tal razón y por cuestiones de diseño la separación real fue de 25 m entre drenes de 4" de diámetro, se incrementó en un 19% su separación a partir de la distancia más crítica siendo esta la del régimen variable.

#### 4.5. Material que se utilizó en la instalación.

CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCION
13,979.00	M.	Tubo perforado de 4"
280.00	Pza.	Cople interior de 4"
775.00	M.	Tubo perforado de 6"
30.00	Pza.	Cople interior de 8"
27.00	Pza.	Reducción en T de 6" a 4"
8.00	Pza.	"T" blindada
8.00	Pza.	Reducción en cople de 6" a 4"
4.00	Pza.	"T" multiple
200.00	M.	Tubo perforado de 8"
240.00	M.	Tubo no perforado de 8"
41.00	Pza.	Cople exterior de 8"





## **DISCUSION**

Las teorías recomiendan que los drenes deben colocarse en sentido perpendicular a las líneas de flujo y paralelos a las equipotenciales, esto con la finalidad de aprovechar el potencial de carga de el manto freático y asegurar un correcto funcionamiento de la red de drenaje.

Para este caso la instalación de la red de drenaje se efectuó en sentido paralelo a las líneas de flujo debido a la poca profundidad de los drenes colectores parcelarios y a las condiciones topográficas del terreno. El resultado de este diseño es favorable y se encuentra trabajando con eficiencia, esto debido principalmente a la diferencia de gradiente hidráulico a favor del drenaje instalado.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

La separación de 25 metros entre los drenes resulto ser la correcta, ya que en el punto crítico (el centro entre dos drenes) se presentó una profundidad de nivel freático de 0.85 m a 0.95 m, 3 días después del riego (figura 53 A).

El afloramiento de las sales de carbonato y bicarbonato en forma de costra en la superficie del suelo y en la parte superior del surco, aun se presentó en los primeros riegos y fue disminuyendo en el último presentándose en manchones aislados con tendencia a desaparecer en los futuros lavados.

1.- Es de vital importancia realizar estudios previos al diseño, evaluando así la magnitud del problema de drenaje agrícola subterráneo que presenta un suelo, llevándonos a una adecuada distribución e instalación de la red de drenaje ya que con una separación corta entre líneas de drenes trae como consecuencia un incremento económico innecesario, y por el contrario una separación excedida sería ineficiente.

2.- Se recomienda que la salida de los drenes de 8" de los tenedores se coloque un recubrimiento metálico a modo de protección para evitar la introducción de especies que puedan dañar el material del dren y obstruir la salida.

3.- La limpieza en los drenes colectores superficiales, es indispensable para un adecuado funcionamiento de la red de drenaje, evitando que el nivel del agua en éstos alcance alturas en que las descargas queden sumergidas de tal manera que obstruyan el libre flujo del agua.

## **RESUMEN**

El presente trabajo se efectuó en el municipio de Valle Hermoso Tamaulipas en el periodo de Agosto a Noviembre de 1993, en un predio con acentuados problemas de drenaje. Para evaluar la magnitud de estos problemas se recurrió a una metodología con la cual interpretar las condiciones del problema y así plantear una solución mediante el diseño e instalación de una red de drenaje agrícola subterráneo

El estudio se inicio con un recorrido del área afectada, localizando en ella sus limites y su grado de afectación, posteriormente se realizo un levantamiento topografico perimetral. El cual se tomo como base para trazar una cuadrícula de 100 m por 100 m.

En cada punto de la cuadrícula se perforo a 2.50 m efectuando pruebas de conductividad hidraulica, altura piezometrica y muestreo de suelo y agua subterranea. Con los datos obtenidos en todo el estudio se procedió a calcular la separación entre drenes, mediante la formula de régimen permanente de Hooghoudt y de régimen variable de Glover y Dumm siendo esta ultima la mas critica y en base a ella se procedió a diseñar la red.

Para la instalación se utilizo una maquina zanjadora Vermeer T-600 D equipada con un sistema de recepción láser conectado al sistema hidráulica de levante para el control de la pendiente en la excavación, ademas de instalar automáticamente la tubería.

El dren instalado es de polietileno corrugado, perforado con un material filtrante de nylon que cubre por completo al tubo.

Se evaluó el sistema durante el siguiente ciclo agrícola, dando como resultado que la separación e instalación de la red de drenaje a la que fue diseñada funciona eficientemente.

## **BIBLIOGRAFIA**

Aguilera, C. M. y Martínez, E. R. 1980. Relación Agua Suelo Planta Atmosfera. 2a Edición. U. A. Chapingo. Departamento de irrigación Texcoco. México.

Burgess, R. y Claude, A. 1960. Drenaje Agrícola Para Ingenieros. Ed. Omega. S.A. Barcelona. España.

De paco, L. J. L. 1973. Drenaje Agrícola. Teoría y bases de cálculo. 2a Edición. Ministerio de Agricultura. Servicio Nacional de Concentración Parcelaria y Ordenación Rural. Madrid. España.

Llerena, V. F. A. 1977. Definición óptima económica del tamaño de muestra e intensidad de lavado para la recuperación de suelos con problemas de sales, Tesis M. C. Chapingo, México.

Ortiz, S. C. A. y Ortiz, V. B. 1990. Edafología. 7a Edición. U. A. Chapingo. Departamento de Suelos. Texcoco. México.

PIFSV. SARH. CIFAP. 1987. Manejo de Tierras de Riego. manual # 5 Tamaulipas. Mexico.

Pizarro, F. 1978. Drenaje Agrícola y Recuperación de Suelos Salinos. Ed. Agrícola Española. S. A. Madrid. España.

Rodríguez, S. F. 1982. Riego por Goteo. 1a Edición. Ed. AGT Editores. S. A. México. D. F.

SARH. 1988. Conservación de Suelos en el Norte de Tamaulipas. Patronato Para la Investigación, Fomento y Sanidad Vegetal. Delegación SARH Tamaulipas Norte.

SARH. 1978. Subsecretaría de Agricultura y Operación. Métodos Para Estimar la Conductividad Hidráulica "K". Memorandum Técnico Número. 373. México.

Torres, F. J. A. 1991. Evaluación de un Sistema de Drenaje Subsuperficial en un Área Piloto de Río Bravo, Tamaulipas. Tesis. U. A. N. L.

Torres, R. F. 1991. Desarrollo y Evaluación de un Método de Campo Para Medir la Cantidad de Sales Solubles en los Suelos. Tesis. U. A. N. L.

USDA. 1972. Servicio de Conservación de Suelos. Principios de Avenamiento o Drenaje. Manual de Ingeniería de Suelos. 1a Edición en Español. Ed. Diana. Mexico. D. F.

Withers, B. y Vipond, S. 1978. El Riego Diseño y Práctica. 1a Edición. Ed. Diana. México. D. F.

## **APENDICE**

Cuadro 1A. Tabla para calcular el valor de "P" para obtener el uso consuntivo. Rodriguez 1978.

Lat. Nte.	Ene.	Feb.	Marzo	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
15°	7.94	7.37	8.44	8.45	8.98	8.80	9.03	8.83	8.27	8.26	7.75	7.88
16°	7.93	7.35	8.44	8.46	9.01	8.83	9.07	8.85	8.27	8.24	7.72	7.83
17°	7.86	7.32	8.43	8.48	9.04	8.87	9.11	8.87	8.27	8.22	7.69	7.80
18°	7.83	7.30	8.42	8.50	9.09	8.92	9.16	8.90	8.27	8.21	7.66	7.74
19°	7.79	7.28	8.41	8.51	9.11	8.97	9.20	8.92	8.28	8.19	7.63	7.71
20°	7.74	7.26	8.41	8.53	9.14	9.00	9.23	8.95	8.29	8.17	7.59	7.66
21°	7.71	7.24	8.40	8.54	9.18	9.05	9.29	8.98	8.29	8.15	7.54	7.62
22°	7.66	7.21	8.40	8.56	9.92	9.09	9.33	9.00	8.30	8.13	7.50	7.55
23°	7.62	7.19	8.40	8.57	9.24	9.12	9.35	9.02	8.30	8.11	7.47	7.50
24°	7.58	7.17	8.40	8.60	9.30	9.20	9.41	9.05	8.31	8.09	7.43	7.46
25°	7.53	7.13	8.30	8.61	9.32	9.22	9.43	9.08	8.30	8.08	7.40	7.41
26°	7.49	7.12	8.40	8.64	9.38	9.30	9.49	9.10	8.31	8.06	7.36	7.35
27°	7.43	7.09	8.38	8.65	9.40	9.32	9.52	9.13	8.32	8.03	7.36	7.31
28°	7.40	7.07	8.30	9.68	9.46	9.38	9.58	9.16	8.32	8.02	7.22	7.27
29°	7.35	7.04	8.37	8.70	9.49	9.43	9.61	9.19	8.32	8.00	7.24	7.20
30°	7.30	7.03	8.38	8.72	9.53	9.49	9.67	9.22	8.34	7.99	7.19	7.14
31°	7.25	7.00	8.36	8.73	9.57	9.54	9.72	9.24	8.33	7.95	7.15	7.09
32°	7.20	6.97	8.37	8.75	9.63	9.60	9.77	9.28	8.34	7.95	7.11	7.05

Cuadro 2A. Tabla para obtener el coeficiente global de uso consuntivo. Rodriguez 1978.  
Coeficientes globales de uso consuntivo para distintos cultivos (K).

Cultivo	Periodo de crecimiento	Coeficiente (K)
Algodón	7 meses	0.60 a 0.65
Alfalfa	Entre heladas en invierno	0.80 a 0.85
Arroz	3 a 5 meses	1.00 a 1.20
Cereales	3 meses	0.50 a 0.65
Cítricos	3 meses	0.60 a 0.70
Jitomate	4 meses	0.70
Maíz	4 meses	0.75 a 0.85
Nogales	Todo el año	0.70
Papa	3 a 5 meses	0.65 a 0.75
Pastos	Todo el año	0.75
Remolacha	6 meses	0.65 a 0.75
Sorgo	4 a 5 meses	0.70
Trébol Ladino	Todo el año	0.80 a 0.85

Los valores menores son para regiones costeras y los mayores para áridas.

Cuadro 3A. Tablas de espesor equivalente de Hooghoudt (L, D, r). Pizarro 1978.

$r_e = 0.03 \text{ m.}$

L en m.	5	7.5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	L en m.	50	75	100	150	200	250	300
$h_0$ en m.												$h_0$ en m.							
0.5	0.36	0.40	0.42	0.45	0.46	0.47	0.47	0.48	0.48	0.48	0.48	0.5	0.48	0.48	0.49	0.49	0.50	0.50	0.50
0.75	0.42	0.51	0.57	0.63	0.66	0.68	0.69	0.70	0.70	0.71	0.71	1	0.90	0.93	0.95	0.97	0.97	0.98	0.98
1.00	0.47	0.58	0.65	0.73	0.78	0.83	0.85	0.87	0.88	0.89	0.90	2	1.56	1.68	1.75	1.83	1.87	1.89	1.91
1.25	0.48	0.62	0.71	0.83	0.90	0.96	1.01	1.04	1.07	1.09	1.10	3	2.01	2.26	2.41	2.58	2.67	2.73	2.77
1.50	↓	0.65	0.75	0.91	1.00	1.07	1.13	1.18	1.21	1.23	1.25	4	2.30	2.71	2.95	3.23	3.39	3.50	3.58
1.75	↓	0.66 (1)	0.78	0.97	1.09	1.18	1.25	1.30	1.35	1.40	1.43	5	2.55	3.06	3.39	3.80	4.04	4.20	4.32
2.00	↓	↓	0.81	1.01	1.16	1.26	1.35	1.42	1.47	1.52	1.56	6	2.71	3.33	3.75	4.29	4.62	4.84	5.00
2.25	↓	↓	0.83	1.05	1.21	1.34	1.43	1.51	1.58	1.64	1.69	7	2.83	3.55	4.05	4.71	5.14	5.42	5.64
2.50	↓	↓	0.84	1.08	1.26	1.40	1.51	1.60	1.68	1.75	1.80	8	2.93	3.72	4.30	5.09	5.60	5.96	6.22
2.75	↓	↓	↓	1.11	1.30	1.45	1.58	1.67	1.76	1.84	1.91	9	2.99	3.86	4.51	5.41	6.02	6.45	6.77
3.00	↓	↓	↓	1.12	1.33	1.49	1.64	1.75	1.85	1.93	2.01	10	3.04	3.97	4.68	5.70	6.39	6.89	7.27
3.25	↓	↓	↓	1.14	1.36	1.54	1.69	1.81	1.92	2.01	2.10	12.5	↓	4.17	5.01	6.27	7.17	7.85	8.27
3.50	↓	↓	↓	1.15	1.38	1.58	1.74	1.87	1.99	2.09	2.17	15	↓	4.29	5.25	6.70	7.78	8.62	9.28
3.75	↓	↓	↓	1.16	1.40	1.60	1.78	1.91	2.05	2.15	2.24	17.5	↓	4.36	5.38	7.02	8.27	9.25	10.
4.00	↓	↓	↓	↓	1.41	1.62	1.81	1.97	2.10	2.21	2.30	20	↓	↓	5.49	7.27	8.65	9.76	10.7
4.50	↓	↓	↓	↓	1.44	1.66	1.87	2.04	2.19	2.33	2.44	25	↓	↓	5.62	7.59	9.21	10.6	11.7
5.00	↓	↓	↓	↓	1.46	1.70	1.92	2.10	2.27	2.42	2.55	30	↓	↓	↓	7.80	9.58	11.1	12.4
5.50	↓	↓	↓	↓	↓	1.72	1.95	2.14	2.33	2.49	2.64	35	↓	↓	↓	7.91	9.83	11.5	13.0
6.00	↓	↓	↓	↓	↓	1.74 (2)	1.98	2.18	2.38	2.56	2.71	40	↓	↓	↓	↓	10.	11.8	13.4
7.00	↓	↓	↓	↓	↓	1.75 (2)	2.02	2.25	2.46	2.66	2.83	45	↓	↓	↓	↓	10.1	12.	13.7
8.00	↓	↓	↓	↓	↓	2.04 (3)	2.29	2.52	2.74	2.93	3.12	50	↓	↓	↓	↓	10.3	12.2	13.9
9.00	↓	↓	↓	↓	↓	↓	2.31 (5)	2.56	2.78	2.99	3.21	60	↓	↓	↓	↓	↓	12.4	14.3
10.00	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	2.59	2.81	3.04	3.28	∞	3.13	4.41	5.64	7.99	10.3	12.6	14.6
∞	0.49	0.67	0.84	1.16	1.47	1.76	2.04	2.32	2.60	2.87	3.13								

(1) Para  $h_0 = 1.875 \text{ m.}$  es  $d = 0.67$  (4) Para  $h_0 = 5.25 \text{ m.}$  es  $d = 2.13$  (6) Para  $h_0 = 6.75 \text{ m.}$  es  $d = 2.63$  (8) Para  $h_0 = 11.25 \text{ m.}$  es  $d = 2.86$   
 (2) Para  $h_0 = 6.25 \text{ m.}$  es  $d = 1.75$  (4) Para  $h_0 = 8.75 \text{ m.}$  es  $d = 2.31$  (7) Para  $h_0 = 7.5 \text{ m.}$  es  $d = 2.69$  (9) Para  $h_0 = 12.5 \text{ m.}$  es  $d = 3.12$   
 (3) Para  $h_0 = 7.5 \text{ m.}$  es  $d = 2.04$

Cuadro 3A. Continuación

$r_0 = 0.04 \text{ m.}$

L en m.	5	7.5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	L en m.	50	75	100	150	200	250	300	
$h_0$ en m.												$h_0$ en m.								
0.5	0.39	0.42	0.44	0.46	0.47	0.48	0.48	0.48	0.48	0.49	0.49	0.5	0.49	0.49	0.49	0.50	0.5 ←			
0.75	0.47	0.53	0.58	0.64	0.67	0.69	0.70	0.71	0.72	0.73	0.74	1	0.91	0.94	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	
1.00	0.52	0.61	0.68	0.76	0.81	0.84	0.87	0.88	0.89	0.90	0.91	2	1.59	1.76	1.77	1.84	1.88	1.90	1.92	
1.25	0.53	0.66	0.74	0.87	0.94	1.00	1.05	1.07	1.09	1.10	1.11	3	2.07	2.31	2.45	2.61	2.70	2.75	2.79	
1.50	↓	0.69	0.80	0.95	(1.05)	1.13	(1.18)	1.22	1.24	1.26	1.27	4	2.41	2.78	3.01	3.28	3.44	3.54	3.61	
1.75	↓	0.71 (1)	0.84	1.02	1.14	1.23	1.30	1.34	1.38	1.42	1.45	5	2.64	3.15	3.47	3.87	4.10	4.25	4.36	
2.00	↓	↓	0.87	1.07	1.21	1.31	1.40	1.46	1.51	1.55	1.59	6	2.83	3.44	3.85	4.38	4.70	4.91	5.07	
2.25	↓	↓	0.89	1.11	1.27	1.39	1.50	1.57	1.64	1.69	1.73	7	2.96	3.67	4.17	4.82	5.23	5.51	5.72	
2.50	↓	↓	0.90	1.14	1.31	1.46	1.57	1.67	1.75	1.81	1.85	8	3.06	3.86	4.44	5.22	5.72	6.06	6.32	
2.75	↓	↓	↓	1.17	1.36	1.51	1.65	1.75	1.84	1.91	1.97	9	3.13	4.00	4.66	5.56	6.15	6.57	6.88	
3.00	↓	↓	↓	1.19	1.40	1.56	1.71	1.83	1.92	2.00	2.07	10	3.18	4.13	4.85	5.86	6.54	7.03	7.40	
3.25	↓	↓	↓	1.21	1.43	1.61	1.77	1.90	2.00	2.09	2.17	12.5	↓	4.35	5.20	6.47	7.39	8.03	8.54	
3.50	↓	↓	↓	1.22	1.46	1.65	1.82	1.95	2.07	2.17	2.25	15	↓	4.48	5.46	6.92	8.01	8.84	9.49	
3.75	↓	↓	↓	1.23	1.48	1.68	1.86	2.0	2.14	2.25	2.34	17.5	↓	4.50	5.60	7.27	8.52	9.51	10.3	
4.00	↓	↓	↓	↓	1.49	1.71	1.90	2.05	2.19	2.31	2.41	20	↓	↓	5.72	7.54	8.93	10.1	11.0	
4.50	↓	↓	↓	↓	1.52	1.75	1.96	2.13	2.29	2.42	2.54	25	↓	↓	5.86	7.88	9.53	10.9	12.1	
5.00	↓	↓	↓	↓	1.54	1.79	2.01	2.20	2.37	2.52	2.64	30	↓	↓	↓	8.10	9.93	11.5	12.8	
5.50	↓	↓	↓	↓	↓	1.81	2.05	2.25	2.44	2.60	2.75	35	↓	↓	↓	8.22	10.2	11.9	13.4	
6.00	↓	↓	↓	↓	↓	1.83	2.08	2.29	2.49	2.67	2.83	40	↓	↓	↓	↓	10.4	12.2	13.8	
7.00	↓	↓	↓	↓	↓	(2)	2.12	2.36	2.58	2.78	2.96	45	↓	↓	↓	↓	10.5	12.4	14.2	
8.00	↓	↓	↓	↓	↓	↓	(3)	2.40	2.64	2.85	3.06	50	↓	↓	↓	↓	10.6	12.6	14.4	
9.00	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	(5)	2.68	2.91	3.13	60	↓	↓	↓	↓	↓	12.8	14.8	
10.00	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	2.72	2.96	3.18	∞	3.28	4.61	5.88	8.31	10.7	12.9	15.2	
∞	0.53	0.72	0.90	1.23	1.55	1.86	2.15	2.44	2.73	(8)	(9)	3.28								

- (1) Para  $h_f = 1.875 \text{ m.}$  es  $d = 0.71$       (4) Para  $h_0 = 5.25 \text{ m.}$  es  $d = 2.22$       (6) Para  $h_0 = 6.75 \text{ m.}$  es  $d = 2.75$       (8) Para  $h_0 = 11.25 \text{ m.}$  es  $d = 2.99$   
 (2) Para  $h_f = 6.25 \text{ m.}$  es  $d = 1.85$       (5) Para  $h_f = 8.75 \text{ m.}$  es  $d = 2.43$       (7) Para  $h_0 = 7.5 \text{ m.}$  es  $d = 2.82$       (9) Para  $h_f = 12.5 \text{ m.}$  es  $d = 3.27$   
 (3) Para  $h_f = 7.5 \text{ m.}$  es  $d = 2.14$

Cuadro 3A. Continuación

$r_0 = 0.05 \text{ m.}$

L en m.	5	7.5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	L en m.	50	75	100	150	200	250	300
$h_0$ en m.												$h_0$ en m.							
0.5	0.40	0.43	0.45	0.46	0.47	0.47	0.48	0.48	0.49	0.49	0.49	0.5	0.49	0.49	0.49	0.50	0.5		
0.75	0.49	0.56	0.61	0.65	0.69	0.71	0.72	0.73	0.74	0.74	0.75	1	0.92	0.95	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99
1.00	0.54	0.64	0.71	0.78	0.83	0.86	0.88	0.89	0.91	0.92	0.92	2	1.62	1.73	1.79	1.86	1.89	1.91	1.93
1.25	0.56	0.69	0.78	0.89	0.96	1.01	1.06	1.07	1.08	1.09	1.10	3	2.12	2.35	2.49	2.64	2.72	2.77	2.81
1.50		0.73	0.83	0.98	1.08	1.15	1.20	1.24	1.26	1.28	1.30	4	2.48	2.84	3.06	3.32	3.47	3.57	3.63
1.75		0.75	0.88	1.05	1.18	1.26	1.32	1.37	1.42	1.45	1.47	5	2.73	3.23	3.54	3.92	4.15	4.30	4.40
2.00		(1)	0.91	1.11	1.25	1.35	1.43	1.50	1.55	1.59	1.62	6	2.92	3.53	3.94	4.45	4.76	4.97	5.00
2.25			0.93	1.16	1.32	1.44	1.54	1.61	1.68	1.72	1.77	7	3.06	3.78	4.27	4.91	5.31	5.60	5.78
2.50			0.94	1.19	1.38	1.52	1.63	1.72	1.80	1.85	1.89	8	3.17	3.97	4.55	5.32	5.81	6.15	6.40
2.75				1.22	1.42	1.58	1.70	1.81	1.90	1.96	2.02	9	3.24	4.13	4.79	5.68	6.26	6.67	6.97
3.00				1.24	1.46	1.63	1.76	1.88	1.97	2.05	2.12	10	3.31	4.26	4.98	6	6.67	7.15	7.51
3.25				1.26	1.49	1.68	1.83	1.96	2.06	2.15	2.23	12.5		4.49	5.35	6.63	7.52	8.18	8.68
3.50				1.28	1.52	1.72	1.88	2.01	2.13	2.22	2.32	15		4.64	5.63	7.11	8.20	9.02	9.67
3.75				1.29	1.54	1.75	1.92	2.07	2.20	2.30	2.41	17.5		4.72	5.79	7.48	8.74	9.72	10.5
4.00					1.56	1.79	1.96	2.13	2.26	2.37	2.48	20			5.91	7.76	9.16	10.3	11.2
4.50					1.59	1.84	2.03	2.22	2.37	2.50	2.62	25			6.06	8.12	9.79	11.2	12.3
5.00					1.61	1.87	2.09	2.28	2.45	2.60	2.73	30				8.36	10.2	11.8	13.1
5.50						1.90	2.13	2.34	2.52	2.69	2.84	35				8.48	10.5	12.2	13.7
6.00						(2)	2.17	2.39	2.58	2.76	2.92	40					10.7	12.5	14.2
7.00							2.21	2.46	2.68	2.87	3.06	45					10.9	12.8	14.6
8.00							(3)	2.53	2.75	2.96	3.17	50					11	13.1	14.8
9.00								(5)	2.79	3.02	3.24	60						13.2	15.2
10.00									2.82	3.09	3.31	$\infty$	3.41	4.78	6.08	8.59	11.	13.3	15.6
$\infty$	0.57	0.76	0.95	1.29	1.62	1.94	2.24	2.54	2.84	3.12	3.41								

(1) Para  $h_f = 1.875 \text{ m.}$  es  $d = 0.76$  (4) Para  $h_f = 5.25 \text{ m.}$  es  $d = 2.31$  (6) Para  $h_0 = 6.75 \text{ m.}$  es  $d = 2.78$  (8) Para  $h_f = 11.25 \text{ m.}$  es  $d = 3.11$   
 (2) Para  $h_f = 6.25 \text{ m.}$  es  $d = 1.93$  (5) Para  $h_f = 8.75 \text{ m.}$  es  $d = 2.53$  (7) Para  $h_0 = 7.5 \text{ m.}$  es  $d = 2.92$  (9) Para  $h_0 = 12.5 \text{ m.}$  es  $d = 3.39$   
 (3) Para  $h_f = 7.5 \text{ m.}$  es  $d = 2.23$

Cuadro 3A. Continuación

$r_0 = 0.06 \text{ m.}$

L en m.	5	7.5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	L en m.	50	75	100	150	200	250	300
$h_0$ en m.												$h_0$ en m.							
0.5	0.42	0.45	0.46	0.46	0.48	0.48	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.5	0.49	0.49	0.50	0.5 ←			
0.75	0.52	0.58	0.64	0.68	0.71	0.72	0.73	0.74	0.74	0.74	0.74	1	0.93	0.95	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99
1.00	0.57	0.67	0.73	0.80	0.85	0.88	0.90	0.91	0.92	0.93	0.93	2	1.64	1.75	1.81	1.87	1.90	1.92	1.94
1.25	0.60	0.72	0.80	0.91	0.99	1.03	1.06	1.08	1.09	1.10	1.11	3	2.16	2.39	2.52	2.66	2.73	2.79	2.82
1.50		0.76	0.86	1.02	1.11	1.17	1.21	1.25	1.27	1.29	1.31	4	2.54	2.88	3.11	3.36	3.50	3.59	3.65
1.75		0.78	0.90	1.09	1.21	1.29	1.35	1.39	1.43	1.47	1.49	5	2.80	3.29	3.60	3.97	4.19	4.33	4.43
2.00		0.79 (1)	0.94	1.15	1.29	1.40	1.47	1.53	1.57	1.61	1.64	6	3.00	3.61	4.01	4.52	4.82	5.02	5.17
2.25			0.96	1.18	1.36	1.48	1.58	1.65	1.70	1.75	1.79	7	3.15	3.87	4.36	4.99	5.38	5.64	5.83
2.50			0.98	1.24	1.42	1.56	1.66	1.75	1.83	1.88	1.92	8	3.26	4.07	4.65	5.41	5.89	6.22	6.46
2.75				1.27	1.47	1.62	1.75	1.84	1.93	2.00	2.06	9	3.34	4.24	4.89	5.78	6.35	6.75	7.05
3.00				1.29	1.51	1.68	1.82	1.93	2.02	2.09	2.16	10	3.41	4.38	5.10	6.11	6.77	7.24	7.59
3.25				1.31	1.54	1.72	1.88	2.01	2.11	2.19	2.27	12.5		4.62	5.49	6.77	7.66	8.31	8.80
3.50				1.33	1.57	1.76	1.94	2.07	2.18	2.28	2.37	15		4.77	5.78	7.27	8.36	9.18	9.81
3.75				1.34	1.60	1.80	1.98	2.13	2.25	2.36	2.46	17.5		4.86	5.94	7.66	8.92	9.86	10.7
4.00					1.62	1.84	2.03	2.19	2.32	2.44	2.54	20			6.08	7.95	9.36	10.5	11.4
4.50					1.65	1.90	2.10	2.27	2.43	2.56	2.68	25			6.24	8.34	10	11.4	12.6
5.00					1.68	1.94	2.16	2.35	2.52	2.67	2.80	30				8.59	10.5	12.1	13.4
5.50						(2)	2.20	2.39	2.59	2.77	2.90	35				8.72	10.8	12.5	14.0
6.00							2.24	2.45	2.66	2.84	3.00	40					11	12.8	14.6
7.00							2.29	2.54	2.76	2.97	3.15	45					11.1	13.1	14.9
8.00							(3)	2.59	2.84	3.05	3.26	50					11.3	13.3	15.2
9.00								2.62	2.88	3.12	3.34	60					11.3	13.5	15.6
10.00									2.92	3.18	3.41	$\infty$	3.52	4.92	6.26	8.82	11.3	13.7	16.0
$\infty$	0.60	0.80	0.99	1.34	1.69	2.01	2.33	2.63	2.93	3.23	3.52								

(1) Para  $h_f = 1.875 \text{ m.}$  es  $d = 0.80$       (4) Para  $h_f = 5.25 \text{ m.}$  es  $d = 2.39$       (6) Para  $h_f = 6.75 \text{ m.}$  es  $d = 2.94$       (8) Para  $h_f = 11.25 \text{ m.}$  es  $d = 3.21$   
 (2) Para  $h_f = 6.25 \text{ m.}$  es  $d = 2.00$       (5) Para  $h_f = 8.75 \text{ m.}$  es  $d = 2.62$       (7) Para  $h_f = 7.5 \text{ m.}$  es  $d = 3.01$       (9) Para  $h_f = 12.5 \text{ m.}$  es  $d = 3.51$   
 3 Para  $h_f = 7.5 \text{ m.}$  es  $d = 2.31$

Cuadro 3A. Continuación

$r_s = 0.07 \text{ m.}$

L en m.	5	7.5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	L en m.	50	75	100	150	200	250	300
$h_0$ en m.												$h_0$ en m.							
0.5	0.43	0.45	0.46	0.48	0.48	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.5	0.49	0.50	0.50	0.5			
0.75	0.54	0.59	0.64	0.67	0.69	0.71	0.72	0.73	0.74	0.74	0.75	1	0.94	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99
1.00	0.59	0.69	0.75	0.82	0.86	0.89	0.90	0.92	0.93	0.94	0.94	2	1.67	1.76	1.82	1.88	1.91	1.93	1.94
1.25	0.62	0.75	0.82	0.93	1.00	1.05	1.09	1.12	1.14	1.16	1.16	3	2.20	2.41	2.54	2.68	2.75	2.80	2.83
1.50		0.79	0.88	1.04	1.14	1.20	1.24	1.28	1.30	1.31	1.32	4	2.59	2.93	3.15	3.39	3.52	3.61	3.67
1.75		0.82	0.94	1.11	1.24	1.33	1.39	1.42	1.47	1.50	1.52	5	2.87	3.34	3.65	4.02	4.22	4.36	4.46
2.00		(1)	0.98	1.18	1.32	1.43	1.50	1.57	1.61	1.64	1.67	6	3.07	3.67	4.08	4.57	4.86	5.05	5.19
2.25			1.	1.24	1.40	1.51	1.60	1.69	1.74	1.78	1.82	7	3.23	3.93	4.43	5.06	5.44	5.69	5.88
2.50			1.02	1.28	1.46	1.59	1.70	1.79	1.86	1.91	1.95	8	3.35	4.15	4.74	5.49	5.96	6.28	6.52
2.75				1.31	1.51	1.66	1.78	1.89	1.97	2.03	2.08	9	3.43	4.32	4.99	5.87	6.43	6.82	7.11
3.00				1.34	1.56	1.71	1.86	1.97	2.07	2.14	2.19	10	3.50	4.46	5.21	6.21	6.86	7.33	7.67
3.25				1.36	1.60	1.78	1.92	2.06	2.16	2.25	2.32	12.5		4.71	5.62	6.89	7.77	8.42	8.90
3.50				1.38	1.62	1.81	1.98	2.13	2.24	2.33	2.42	15		4.88	5.92	7.41	8.50	9.31	9.94
3.75				1.39	1.65	1.86	2.03	2.18	2.31	2.41	2.51	17.5		4.97	6.00	7.81	9.08	10.1	10.1
4.00					1.67	1.87	2.08	2.24	2.39	2.49	2.59	20			6.23	8.12	9.54	10.7	11.6
4.50					1.72	1.94	2.16	2.34	2.49	2.62	2.74	25			6.39	8.52	10.2	11.6	12.8
5.00					1.73	1.99	2.22	2.40	2.59	2.74	2.87	30				8.78	10.7	12.3	13.6
5.50						2.02	2.27	(4) 2.50	2.67	2.84	2.98	35				8.92	11	12.8	14.3
6.00						2.05	2.31	2.55	2.74	2.91	3.07	40					11.2	13.1	14.8
7.00						(2)	2.36	2.62	2.84	(6) 3.02	3.23	45					11.4	13.4	15.2
8.00							2.39	2.67	2.91	(7) 3.12	3.35	50					11.5	13.6	15.5
9.00							(3)	(5)	2.97	(8) 3.21	(9) 3.43	60						13.8	15.9
10.00									3.01	(6) 3.25	(9) 3.50	$\infty$	3.62	5.03	6.42	9.03	11.5	14.0	16.3

(1) Para  $h_0 = 1.875 \text{ m.}$  es  $d = 0.83$  (4) Para  $h_0 = 5.25 \text{ m.}$  en  $d = 2.45$  (6) Para  $h_0 = 6.75 \text{ m.}$  es  $d = 3.01$  (8) Para  $h_0 = 11.25 \text{ m.}$  es  $d = 3.31$   
 (2) Para  $h_0 = 6.25 \text{ m.}$  es  $d = 2.06$  (5) Para  $h_0 = 8.75 \text{ m.}$  en  $d = 2.70$  (7) Para  $h_0 = 7.5 \text{ m.}$  es  $d = 3.10$  (9) Para  $h_0 = 12.5 \text{ m.}$  es  $d = 3.60$   
 (3) Para  $h_0 = 7.5 \text{ m.}$  es  $d = 2.39$

Tabla 3A. Continuación

$r_c = 0.08 \text{ m}$

m.	m.												L en m.	m.					
	5	7.5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	50		75	100	150	200	250	300
0.5	0.45	0.47	0.47	0.48	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.50	0.50	0.5	0.50	0.5					
0.6	0.55	0.61	0.65	0.70	0.73	0.74	0.75	0.75	0.76	0.76	0.76	1	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99
0.7	0.62	0.71	0.77	0.84	0.87	0.89	0.91	0.92	0.93	0.95	0.95	2	1.68	1.78	1.83	1.88	1.91	1.93	1.94
0.8	0.65	0.77	0.86	0.98	1.02	1.06	1.08	1.10	1.11	1.12	1.13	3	2.23	2.44	2.56	2.69	2.77	2.81	2.84
0.9		0.82	0.93	1.07	1.15	1.22	1.26	1.29	1.31	1.33	1.34	4	2.63	2.97	3.18	3.41	3.54	3.63	3.68
1.0		0.84	0.98	1.15	1.25	1.35	1.40	1.44	1.47	1.50	1.52	5	2.92	3.40	3.70	4.05	4.26	4.39	4.48
1.1		0.86	1.02	1.21	1.35	1.46	1.52	1.57	1.61	1.65	1.68	6	3.14	3.74	4.14	4.62	4.90	5.09	5.22
1.2			1.05	1.27	1.44	1.55	1.64	1.70	1.76	1.80	1.84	7	3.30	4.02	4.50	5.12	5.49	5.74	5.91
1.3			1.06	1.31	1.50	1.63	1.74	1.81	1.89	1.94	1.98	8	3.43	4.24	4.82	5.55	6.02	6.34	6.56
1.4				1.35	1.56	1.70	1.82	1.91	2.00	2.06	2.12	9	3.51	4.42	5.08	5.95	6.50	6.89	7.17
1.5				1.38	1.60	1.76	1.90	2.01	2.10	2.17	2.23	10	3.59	4.57	5.30	6.30	6.94	7.40	7.74
1.6				1.39	1.64	1.81	1.96	2.09	2.20	2.28	2.35	12.5		4.84	5.72	7.00	7.88	8.53	8.99
1.7				1.40	1.67	1.86	2.03	2.16	2.28	2.38	2.46	15		5.01	6.04	7.54	8.62	9.43	10.1
1.8				1.43	1.70	1.90	2.08	2.22	2.35	2.46	2.55	17.5		5.10	6.22	7.95	9.21	10.2	11.0
1.9					1.72	1.93	2.13	2.28	2.42	2.53	2.63	20			6.39	8.27	9.69	10.8	11.7
2.0					1.76	2	2.22	2.39	2.54	2.67	2.79	25			6.50	8.69	10.4	11.8	12.9
2.1					1.79	2.05	2.28	2.47	2.64	2.78	2.92	30				8.96	10.9	12.5	13.9
2.2					2.09	2.33	2.53	2.73	2.73	2.89	3.05	35				9.11	11.2	13	14.5
2.3					2.12	2.37	2.59	2.80	2.80	2.97	3.14	40					11.5	13.4	15.1
2.4					(2)	2.42	2.68	2.91	2.91	3.11	3.30	45					11.6	13.6	15.5
2.5						(3)	2.78	2.99	2.99	3.21	3.43	50					11.7	13.8	15.8
2.6							(5)	3.04	3.04	3.29	3.51	60					11.7	14.1	16.2
2.7								3.08	3.08	3.36	3.59	∞	3.71	5.17	6.56	9.22	11.7	14.2	16.6
2.8								3.10	3.10	3.41	3.71								

Para  $h_a = 1.875 \text{ m}$  es  $d = 0.86$

Para  $h_a = 6.25 \text{ m}$  es  $d = 2.13$

Para  $h_a = 7.5 \text{ m}$  es  $d = 2.45$

(4) Para  $h_a = 5.25 \text{ m}$  es  $d = 2.51$

(5) Para  $h_a = 8.75 \text{ m}$  es  $d = 2.77$

(6) Para  $h_a = 6.75 \text{ m}$  es  $d = 3.08$

(7) Para  $h_a = 7.5 \text{ m}$  es  $d = 3.17$

(8) Para  $h_a = 11.25 \text{ m}$  es  $d = 3.39$

(9) Para  $h_a = 12.5 \text{ m}$  es  $d = 3.69$

Quadro 3A. Continuação

$r_0 = 0.09 \text{ m}$

L en m.	5	7.5	10	15	20	25	30	35		40	45	50	L en m.	50	75	100	150	200	250	300	
$h_0$ en m.													$h_0$ en m.								
0.5	0.46	0.47	0.48	0.49	0.49	0.49	0.49	0.50		0.50	0.50	0.50	0.5	0.50	0.5						
0.75	0.57	0.63	0.67	0.71	0.73	0.75	0.75	0.75		0.76	0.76	0.76	1	0.95	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	
1.00	0.64	0.73	0.79	0.85	0.88	0.90	0.92	0.93		0.94	0.95	0.95	2	1.70	1.79	1.84	1.89	1.92	1.93	1.95	
1.25	0.68	0.80	0.88	0.97	1.05	1.09	1.11	1.13		1.15	1.17	1.18	3	2.26	2.47	2.58	2.71	2.78	2.82	2.85	
1.50		0.85	0.95	1.09	1.18	1.24	1.27	1.31		1.33	1.34	1.35	4	2.68	3.01	3.21	3.44	3.57	3.64	3.70	
1.75		0.88 (1)	1.01	1.18	1.29	1.38	1.43	1.47		1.50	1.52	1.54	5	2.97	3.45	3.74	4.06	4.28	4.41	4.50	
2.00			1.05	1.25	1.38	1.48	1.54	1.60		1.64	1.68	1.70	6	3.20	3.80	4.19	4.66	4.94	5.12	5.25	
2.25			1.07	1.31	1.46	1.59	1.68	1.75		1.79	1.82	1.85	7	3.37	4.08	4.55	5.17	5.53	5.78	5.95	
2.50			1.09	1.35	1.53	1.66	1.77	1.86		1.93	1.96	2.00	8	3.50	4.32	4.89	5.62	6.08	6.38	6.61	
2.75				1.39	1.58	1.73	1.86	1.97		2.04	2.10	2.14	9	3.59	4.50	5.16	6.02	6.57	6.95	7.22	
3.00				1.42	1.64	1.80	1.94	2.06		2.13	2.20	2.26	10	3.67	4.66	5.39	6.38	7.02	7.47	7.80	
3.25				1.45	1.68	1.86	2.02	2.14		2.23	2.31	2.39	12.5		4.93	5.83	7.10	7.97	8.60	9.08	
3.50				1.47	1.71	1.90	2.08	2.20		2.31	2.40	2.49	15		5.11	6.15	7.65	8.73	9.51	10.2	
3.75				1.48	1.74	1.94	2.13	2.26		2.39	2.50	2.59	17.5		5.21	6.34	8.08	9.35	10.3	11.1	
4.00					1.77	1.97	2.18	2.33		2.46	2.58	2.68	20			6.49	8.41	9.83	11.0	11.9	
4.25					1.81	2.04	2.26	2.42		2.58	2.72	2.84	25			6.67	8.84	10.6	12.0	13.2	
4.50					1.84	2.10	2.33	2.51		2.70	2.85	2.97	30				9.11	11.1	12.7	14.1	
4.75						2.14	2.40	2.59	(4)	2.78	2.95	3.08	35				9.27	11.4	13.2	14.8	
5.00						2.16	2.43	2.65		2.86	3.04	3.20	40					11.7	13.6	15.3	
5.25						(2)	2.49	2.74		2.97	3.18	3.37	45					11.8	13.8	15.7	
5.50							2.52	2.80	(3)	3.06	3.28	3.50	50					11.9	14.1	16.0	
5.75								2.80	(5)	3.11	3.36	3.59	60					11.9	14.1	16.0	
6.00										3.16	3.44	3.67	$\infty$	3.80	5.28	6.70	9.39	12.0	14.5	16.9	
6.25										3.17	3.49	3.80									

(1) Para  $h_f = 1.875 \text{ m}$  es  $d = 0.88$   
 (2) Para  $h_f = 6.25 \text{ m}$  es  $d = 2.16$   
 (3) Para  $h_f = 7.5 \text{ m}$  es  $d = 2.51$

(4) Para  $h_f = 5.25 \text{ m}$  es  $d = 2.57$   
 (5) Para  $h_f = 8.75 \text{ m}$  es  $d = 2.84$

(6) Para  $h_f = 6.75 \text{ m}$  es  $d = 3.15$   
 (7) Para  $h_f = 7.5 \text{ m}$  es  $d = 3.24$

(8) Para  $h_f = 11.25 \text{ m}$  es  $d = 3.47$   
 (9) Para  $h_f = 12.5 \text{ m}$  es  $d = 3.78$

$r_0 = 0.10 \text{ m}$

Quadro 3A. Continuação

L en m.	5	7.5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	L en m.	50	75	100	150	200	250	300																	
$h_0$ en m.	0.5	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	0.5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12.5	15	17.5	20	25	30	35	40	45	50	60	$\infty$		
	0.47	0.48	0.49	0.49	0.49	0.50	0.50	0.50				0.50	0.50	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	
	0.60	0.65	0.69	0.71	0.73	0.74	0.75	0.75	0.75	0.76	0.76	1	0.96	1.80	1.85	1.90	1.92	1.94	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	
	0.67	0.75	0.80	0.86	0.89	0.91	0.93	0.94	0.96	0.96	0.96	2	1.72	2.49	2.60	2.72	2.79	2.83	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	
	0.70	0.82	0.89	1.00	1.05	1.09	1.12	1.13	1.14	1.14	1.15	3	2.29	3.04	3.24	3.46	3.58	3.66	3.71	3.71	3.71	3.71	3.71	3.71	3.71	3.71	3.71	3.71	3.71	3.71	3.71	3.71	3.71	3.71	3.71	
		0.88	0.97	1.11	1.19	1.25	1.28	1.31	1.34	1.35	1.36	4	2.71	3.49	3.78	4.12	4.31	4.43	4.52	4.52	4.52	4.52	4.52	4.52	4.52	4.52	4.52	4.52	4.52	4.52	4.52	4.52	4.52	4.52	4.52	
		0.91 (1)	1.02	1.20	1.30	1.39	1.45	1.49	1.52	1.55	1.57	5	3.02	3.85	4.23	4.70	4.97	5.15	5.27	5.27	5.27	5.27	5.27	5.27	5.27	5.27	5.27	5.27	5.27	5.27	5.27	5.27	5.27	5.27	5.27	
			1.08	1.28	1.41	1.51	1.57	1.62	1.66	1.70	1.72	6	3.26	4.14	4.62	5.22	5.57	5.81	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	
			1.13	1.34	1.50	1.61	1.69	1.76	1.81	1.84	1.86	7	3.43	4.38	4.95	5.68	6.13	6.43	6.65	6.65	6.65	6.65	6.65	6.65	6.65	6.65	6.65	6.65	6.65	6.65	6.65	6.65	6.65	6.65	6.65	6.65
				1.38	1.57	1.69	1.79	1.87	1.94	1.99	2.02	8	3.56	4.57	5.23	6.09	6.63	7	7.27	7.27	7.27	7.27	7.27	7.27	7.27	7.27	7.27	7.27	7.27	7.27	7.27	7.27	7.27	7.27	7.27	7.27
				1.42	1.63	1.76	1.88	1.98	2.05	2.12	2.18	9	3.66	4.74	5.47	6.45	7.09	7.53	7.85	7.85	7.85	7.85	7.85	7.85	7.85	7.85	7.85	7.85	7.85	7.85	7.85	7.85	7.85	7.85	7.85	7.85
				1.45	1.67	1.83	1.97	2.08	2.16	2.23	2.29	10	3.74	5.02	5.92	7.20	8.06	8.68	9.15	9.15	9.15	9.15	9.15	9.15	9.15	9.15	9.15	9.15	9.15	9.15	9.15	9.15	9.15	9.15	9.15	9.15
				1.48	1.71	1.88	2.04	2.16	2.26	2.35	2.42	12.5		5.20	6.25	7.76	8.84	9.64	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3
				1.50	1.75	1.93	2.11	2.24	2.35	2.45	2.54	15		5.30	6.44	8.20	9.47	10.4	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2
				1.52	1.78	1.97	2.17	2.31	2.44	2.54	2.64	17.5		6.60	8.54	9.97	11.1	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
					1.81	2.02	2.22	2.37	2.51	2.62	2.71	20		6.79	8.99	10.7	12.1	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3
					1.85	2.08	2.31	2.50	2.63	2.76	2.87	25		9.27	11.3	12.9	14.2	14.2	14.2	14.2	14.2	14.2	14.2	14.2	14.2	14.2	14.2	14.2	14.2	14.2	14.2	14.2	14.2	14.2	14.2	14.2
					1.88	2.15	2.38	2.58	2.75	2.89	3.02	30		9.44	11.6	13.4	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
					2.20	2.43	2.65	2.85	2.84	3.00	3.15	35		11.8	13.8	15.5	15.5	15.5	15.5	15.5	15.5	15.5	15.5	15.5	15.5	15.5	15.5	15.5	15.5	15.5	15.5	15.5	15.5	15.5	15.5	15.5
					(2)	2.48	2.70	2.92	2.92	3.09	3.26	40		12	14.1	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9
						2.54	2.81	3.03	3.03	3.24	3.43	45		12.1	14.3	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3
						(3)	2.85	3.13	3.13	3.35	3.56	50		14.6	16.7	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2
						2.57	2.89	3.18	3.18	3.43	3.66	60		14.7	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2
							3.23	3.48	3.23	3.48	3.74	$\infty$	3.88	5.38	6.82	9.55	12.2	14.7	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2
							3.24	3.56	3.24	3.56	3.88																									

(1) Para  $h_0=1.875 \text{ m}$  es  $d=0.92$   
 (2) Para  $h_0=6.25 \text{ m}$  es  $d=2.23$   
 (3) Para  $h_0=7.5 \text{ m}$  es  $d=2.57$

(4) Para  $h_0=5.25 \text{ m}$  es  $d=2.62$   
 (5) Para  $h_0=8.75 \text{ m}$  es  $d=2.90$

(6) Para  $h_0=6.75 \text{ m}$  es  $d=3.21$   
 (7) Para  $h_0=7.5 \text{ m}$  es  $d=3.30$

(8) Para  $h_0=11.25 \text{ m}$  es  $d=3.54$   
 (9) Para  $h_0=12.5 \text{ m}$  es  $d=3.86$

Cuadro 4A. Datos del polígono del terreno.

Estación	Distancia mts.	Angulos Interno	Rumbo	N (+)	S (-)	E (+)	W (-)
A-1	496.27	88° 56' 25"	SE 82° 00' 00"	-----	69.07	491.44	-----
1-2	978.82	93° 06' 02"	NE 11° 06' 02"	960.51	-----	188.45	-----
2-3	376.25	87° 08' 45"	NW 81° 45' 13"	53.97	-----	-----	372.36
3-4	199.47	140° 09' 47"	SW 58° 24' 34"	-----	104.49	-----	169.91
4-5	175.07	131° 29' 54"	SW 09° 54' 28"	-----	172.46	-----	30.12
5-A	677.50	179° 09' 07"	SW 09° 03' 35"	-----	669.05	-----	106.68
				<u>1014.48</u>	<u>1015.07</u>	<u>679.89</u>	<u>679.07</u>

Y	X	N (+)	S (-)	E (+)	W (-)	Y	X	Y
---	-0.41	-----	69.07	491.03	-----	0.00	0.00	69.07
---	---	960.51	-----	188.45	-----	-69.07	491.03	0.00
0.29	---	54.26	-----	-----	372.36	891.44	679.48	960.51
---	---	-----	104.49	-----	169.91	945.70	307.12	1014.77
---	0.41	-----	172.46	-----	30.53	841.21	137.21	910.28
-0.30	---	-----	668.75	-----	106.68	668.75	106.68	737.82

Y2 - Y1	X1 - X2	(+)	(-)
69.07	491.03	-----	33915.44
960.51	1170.51	1124286.56	-----
54.26	986.60	53532.92	-----
104.49	444.33	-----	46428.04
72.46	243.89	-----	42061.27
668.75	106.68	-----	71342.25
		<u>1177819.48</u>	<u>193747.00</u>

$$\text{Area} = 1177819.48 - 195880.60 = 984072.48 \div 2$$

$$\text{Area} = 492036.24 \text{ mts}^2$$

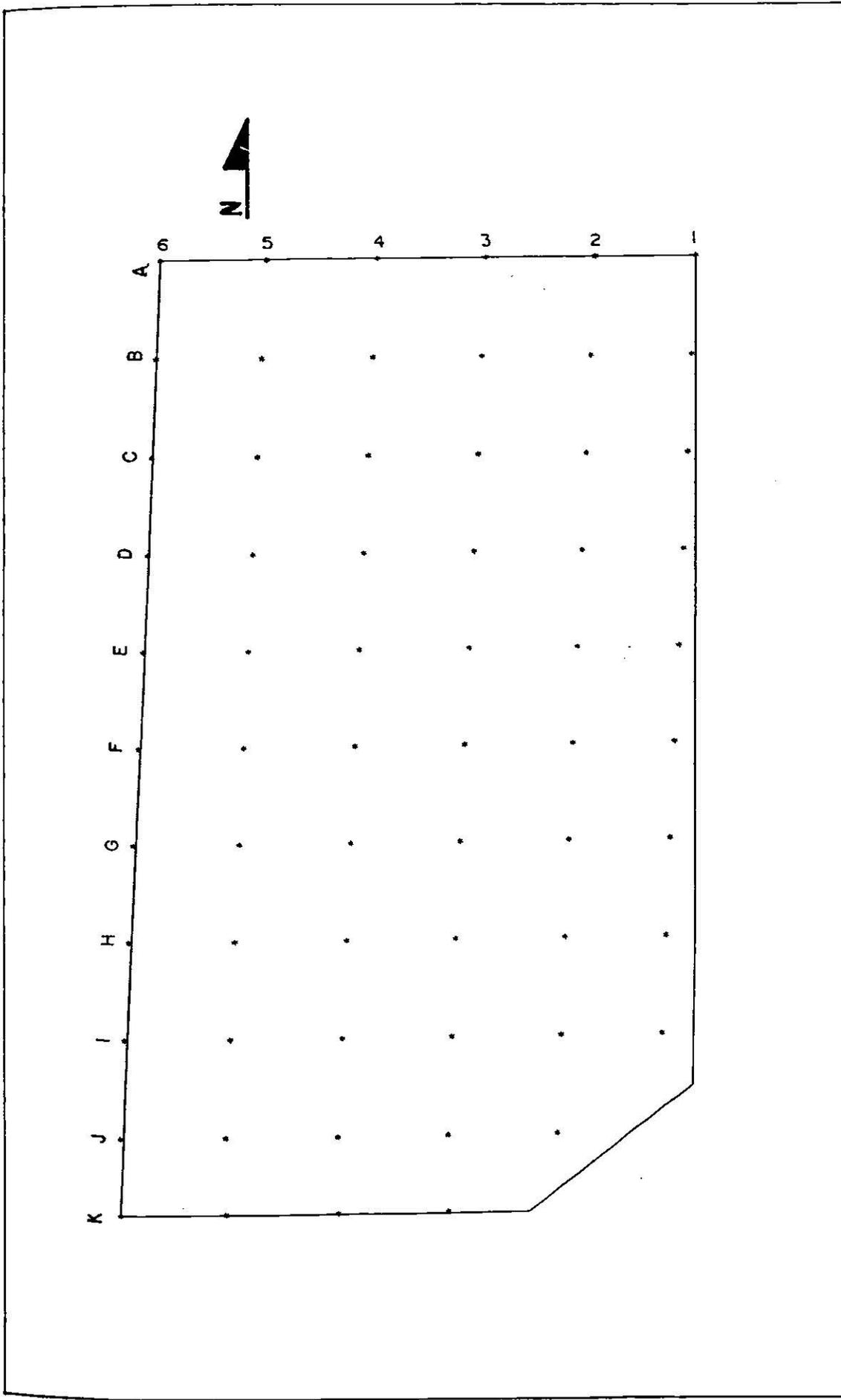
$$\text{Area} = 49 - 2036 - 24 \text{ Hectáreas.}$$

Cuadro 5 A. Datos de la Conductividad Hidraulica

A1 = 0.174mts / día.	B1 = 0.116mts / día.	C1 = 0.079mts / día.	D1 = 0.063mts / día.
A2 = 0.077mts / día.	B2 = 0.133mts / día.	C2 = 0.021mts / día.	D2 = 0.039mts / día.
A3 = ( sin agua. )	B3 = 0.203mts / día.	C3 = 0.106mts / día.	D3 = 0.100mts / día.
A4 = 0.130mts / día.	B4 = 0.111mts / día.	C4 = 0.139mts / día.	D4 = 0.202mts / día.
A5 = 0.304mts / día.	B5 = 0.145mts / día.	C5 = 0.233mts / día.	D5 = 0.303mts / día.
A6 = 0.199mts / día.	B6 = 0.215mts / día.	C6 = 0.295mts / día.	D6 = 0.314mts / día.
E1 = 0.070mts / día.	F1 = 0.089mts / día.	G1 = 0.057mts / día.	H1 = 0.017mts / día.
E2 = 0.087mts / día.	F2 = 0.082mts / día.	G2 = 0.033mts / día.	H2 = 0.058mts / día.
E3 = 0.186mts / día.	F3 = 0.209mts / día.	G3 = 0.168mts / día.	H3 = 0.154mts / día.
E4 = 0.320mts / día.	F4 = 0.351mts / día.	G4 = 0.247mts / día.	H4 = 0.223mts / día.
E5 = 0.255mts / día.	F5 = 0.460mts / día.	G5 = 0.351mts / día.	H5 = 0.236mts / día.
E6 = 0.474mts / día.	F6 = 0.554mts / día.	G6 = 0.200mts / día.	H6 = 0.134mts / día.
I1 = 0.046mts / día.			
I2 = 0.047mts / día.	J2 = 0.037mts / día.		
I3 = 0.140mts / día.	J3 = 0.121mts / día.	K3 = 0.154mts / día.	
I4 = 0.232mts / día.	J4 = 0.239mts / día.	K4 = 0.249mts / día.	
I5 = 0.189mts / día.	J5 = 0.134mts / día.	K5 = 0.308mts / día.	
I6 = 0.213mts / día.	J6 = 0.198mts / día.	K6 = 0.228mts / día.	

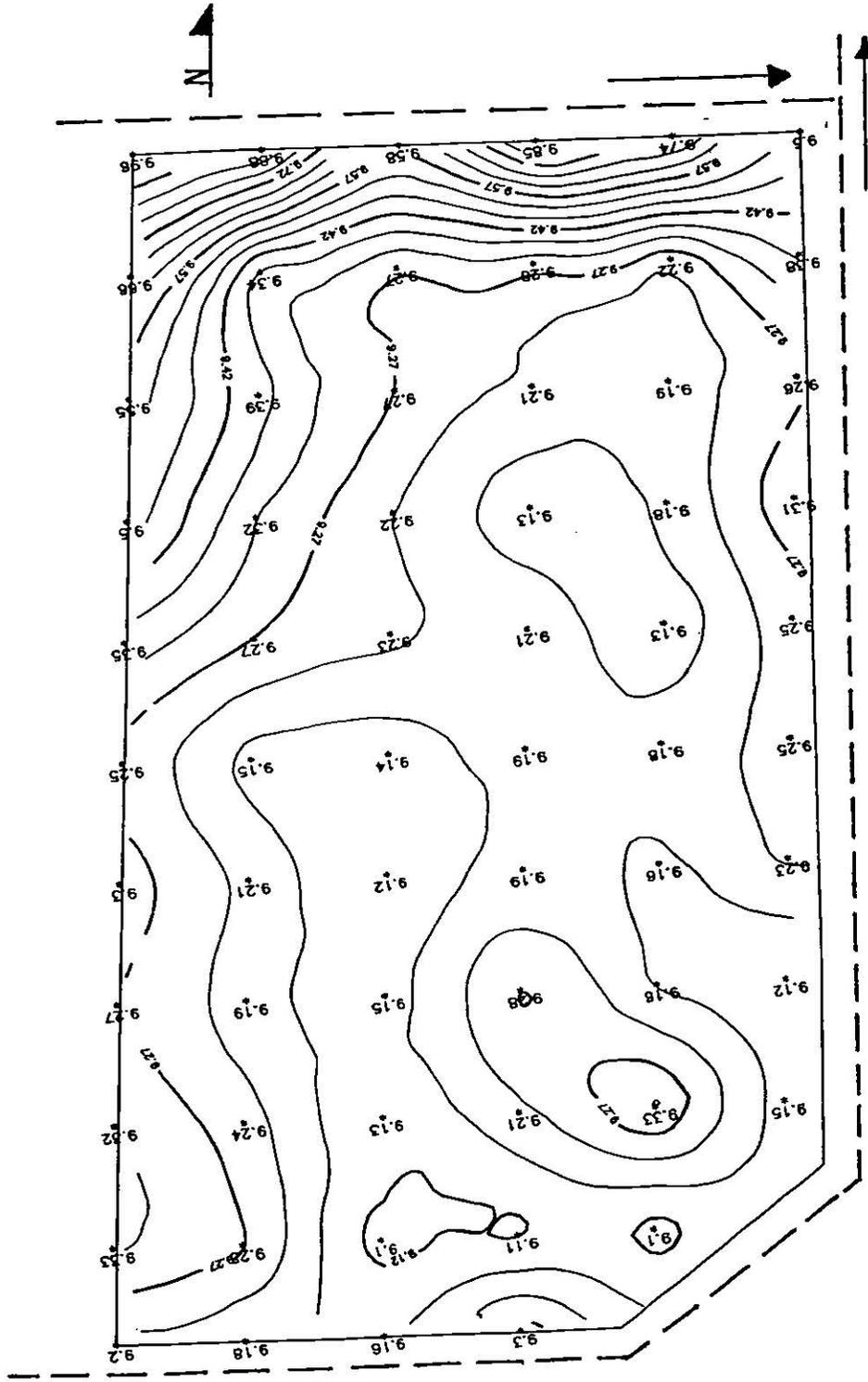
Valor medio de la sumatoria de K = 0.225 metros por día. Se considera como una conductividad - hidráulica lenta de acuerdo con el criterio de O' Neal y Uhland.

Los datos con valor menor de 0.090 metros por día no se tomaron en la estimación de la media por efecto de la influencia de el dren colector superficial.



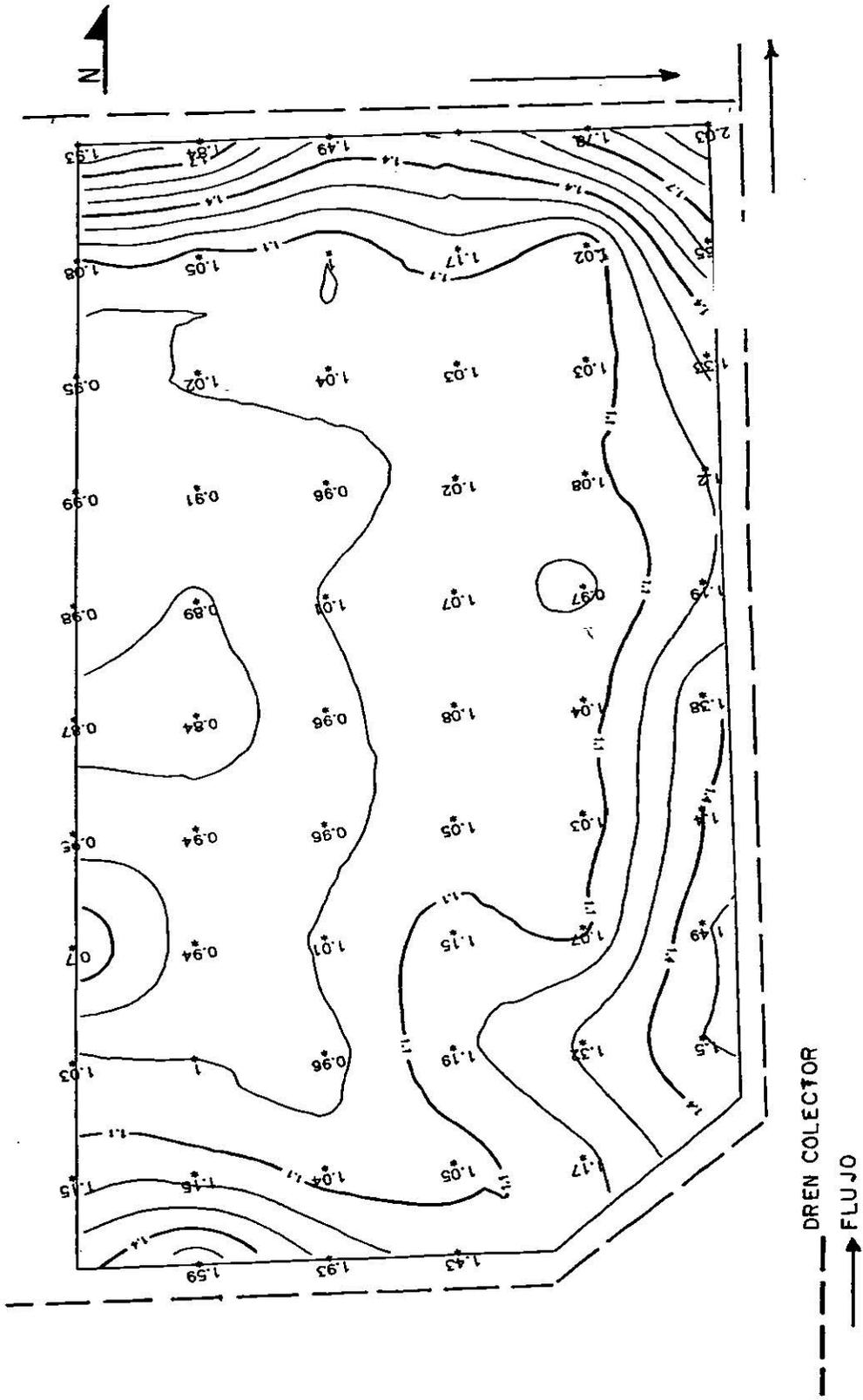
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
 FACULTAD DE AGRONOMIA  
 INGENIERIA AGRICOLA  
 TESIS PROFESIONAL  
 PLANO: UBICACION DE LA CUADRICULA  
 REVISO: M. C. BENJAMIN S. IBARRA RUIZ  
 ING. EDGAR V. GUTIERREZ CASTORENA  
 DIBUJO: GILBERTO SILVA OLIVARES  
 ESCALA: SIN ESCALA.      FECHA: AGOSTO 1993

Figura 1A. Plano de localizacion y distribucion de los pozos de observacion.



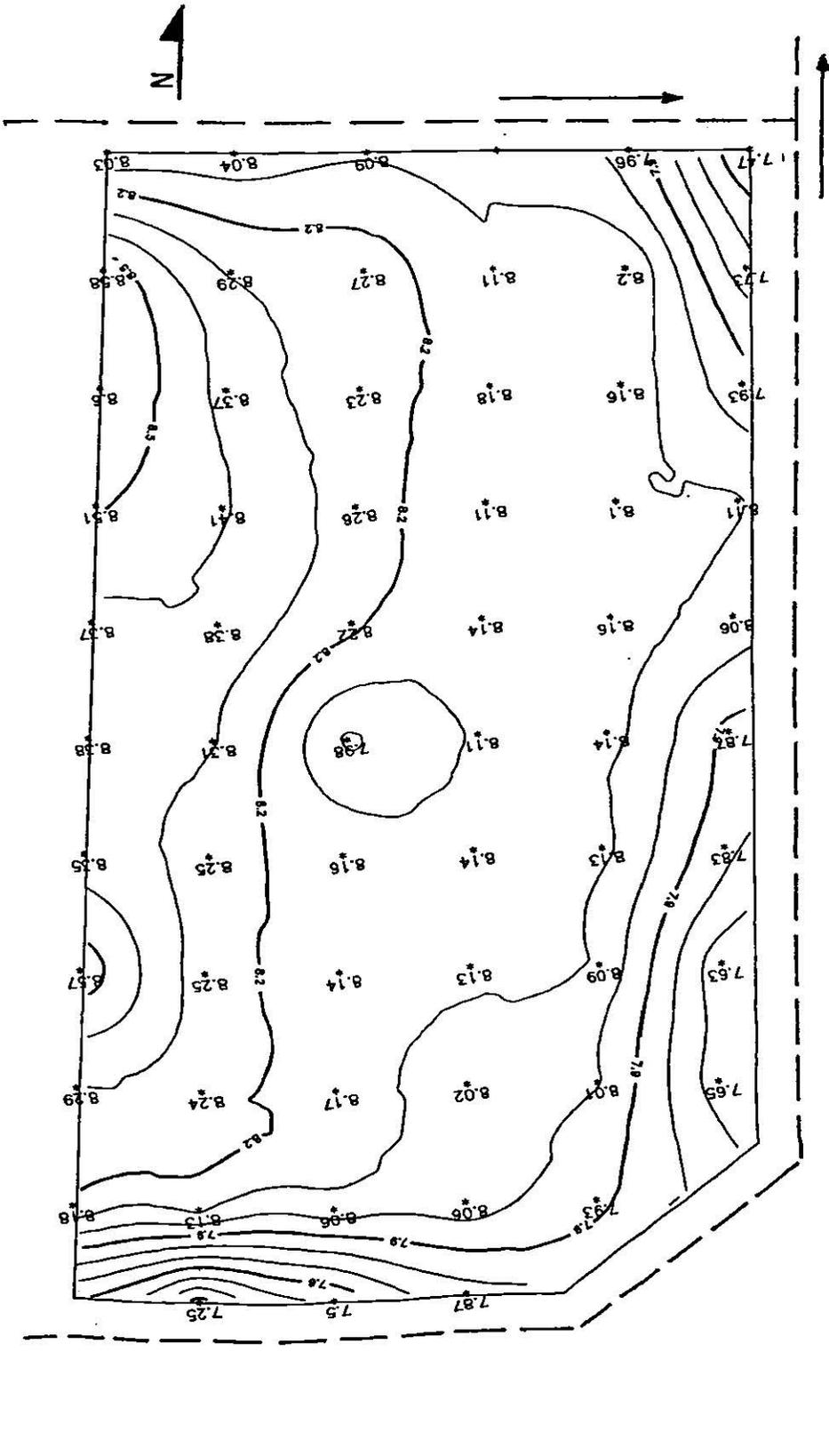
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
INGENIERIA AGRICOLA  
TESIS PROFESIONAL  
PLANO: CURVAS A NIVEL (RELIEVE DEL TERRENO)  
REVISO: ING. EDGAR V. GUTIERREZ CASTORENA  
M.C. BENJAMIN S. IBARRA RUIZ  
DIBUJO: GILBERTO SILVA OLIVARES  
ESCALA: SIN ESCALA.      FECHA: AGOSTO 1993

Figura 2A. Plano de curvas a nivel de la superficie (relieve del terreno).



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
 FACULTAD DE AGRONOMIA  
 INGENIERIA AGRICOLA  
 TESIS PROFESIONAL  
 PLANO: ISOBATAS  
 REVISO: M. C. BENJAMIN S. IBARRA RUIZ  
 ING. EDGAR V. GUTIERREZ CASTORENA  
 DIBUJO: GILBERTO SILVA OLIVARES  
 ESCALA: SIN ESCALA.      FECHA: AGOSTO 1993

Figura 3A. Plano de isobatas.



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
 FACULTAD DE AGRONOMIA  
 INGENIERIA AGRICOLA  
 TESIS PROFESIONAL  
 PLANO: ISOHYPAS  
 REVISO: ING. EDGAR V. GUTIERREZ CASTORENA  
 M. C. BENJAMIN S. IBARRA RUIZ  
 DIBUJO: GILBERTO SILVA OLIVARES  
 ESCALA: SIN ESCALA. FECHA: AGOSTO 1993

Figura 4A. Plano de isohypsas.

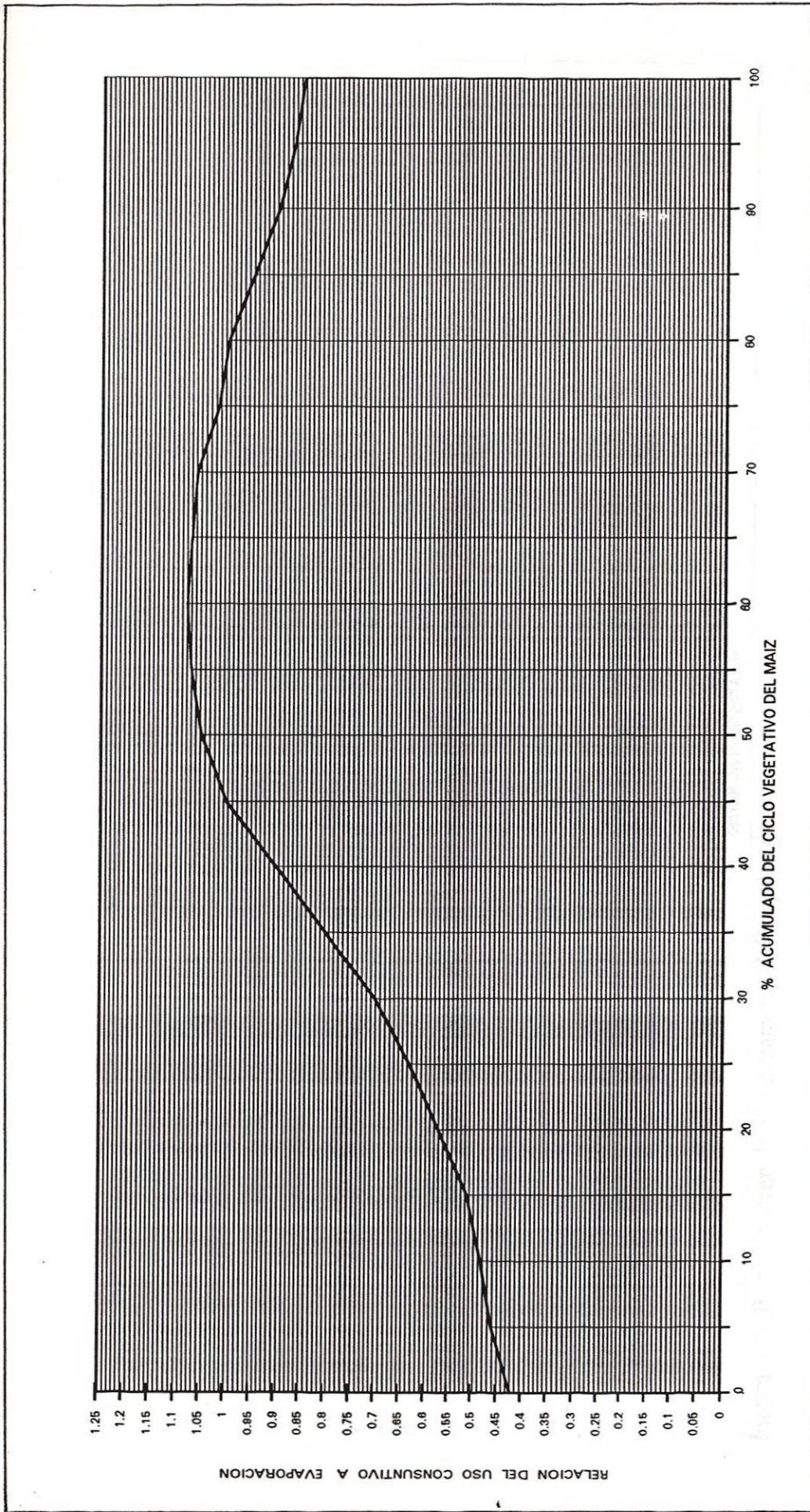


Figura 5 A. Curva única de Hansen para el cálculo del coeficiente de desarrollo (fuente Palacios 1977)

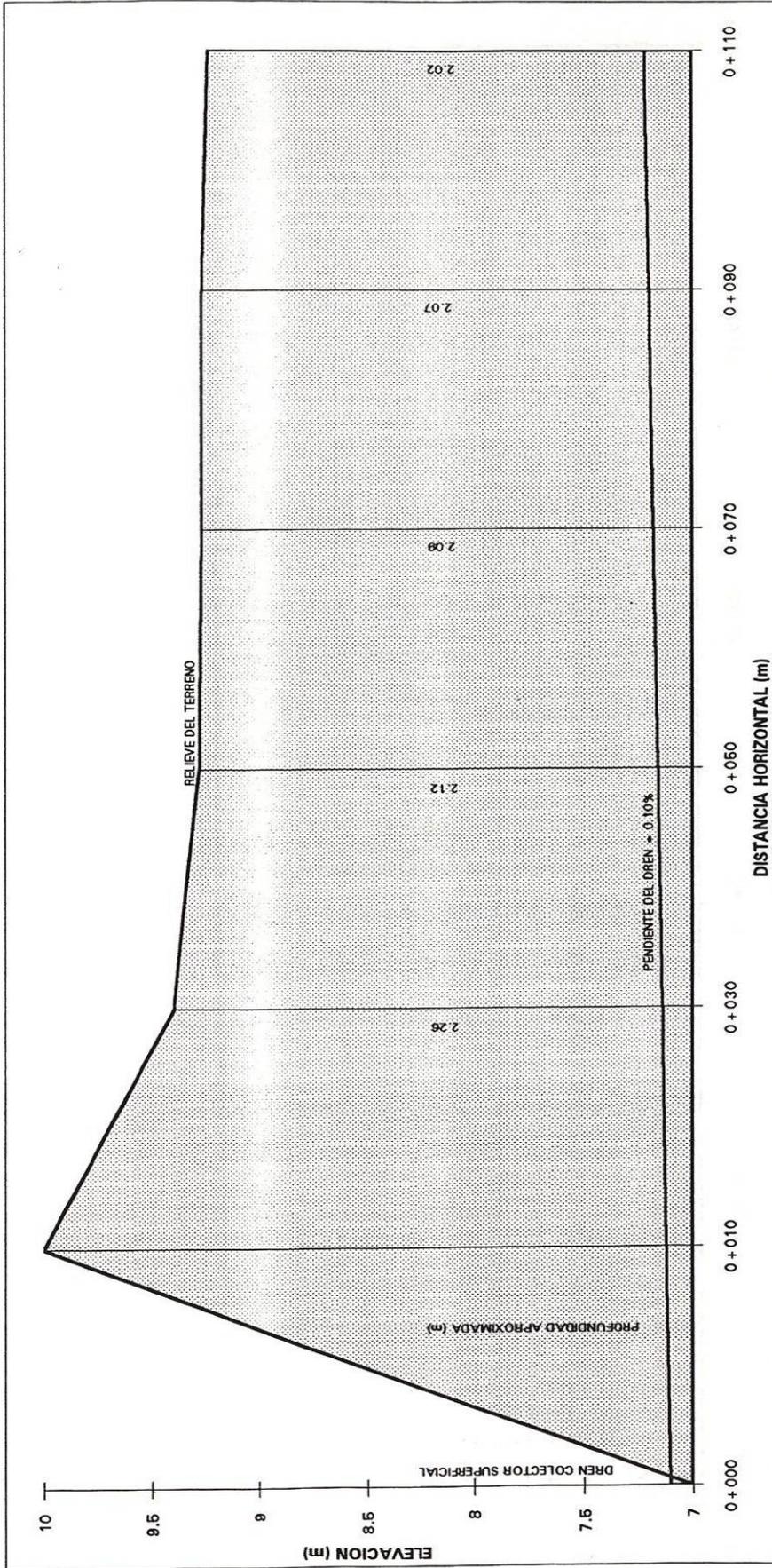


Figura 6 A. Perfil del dren de 8" de diámetro del tenedor #1

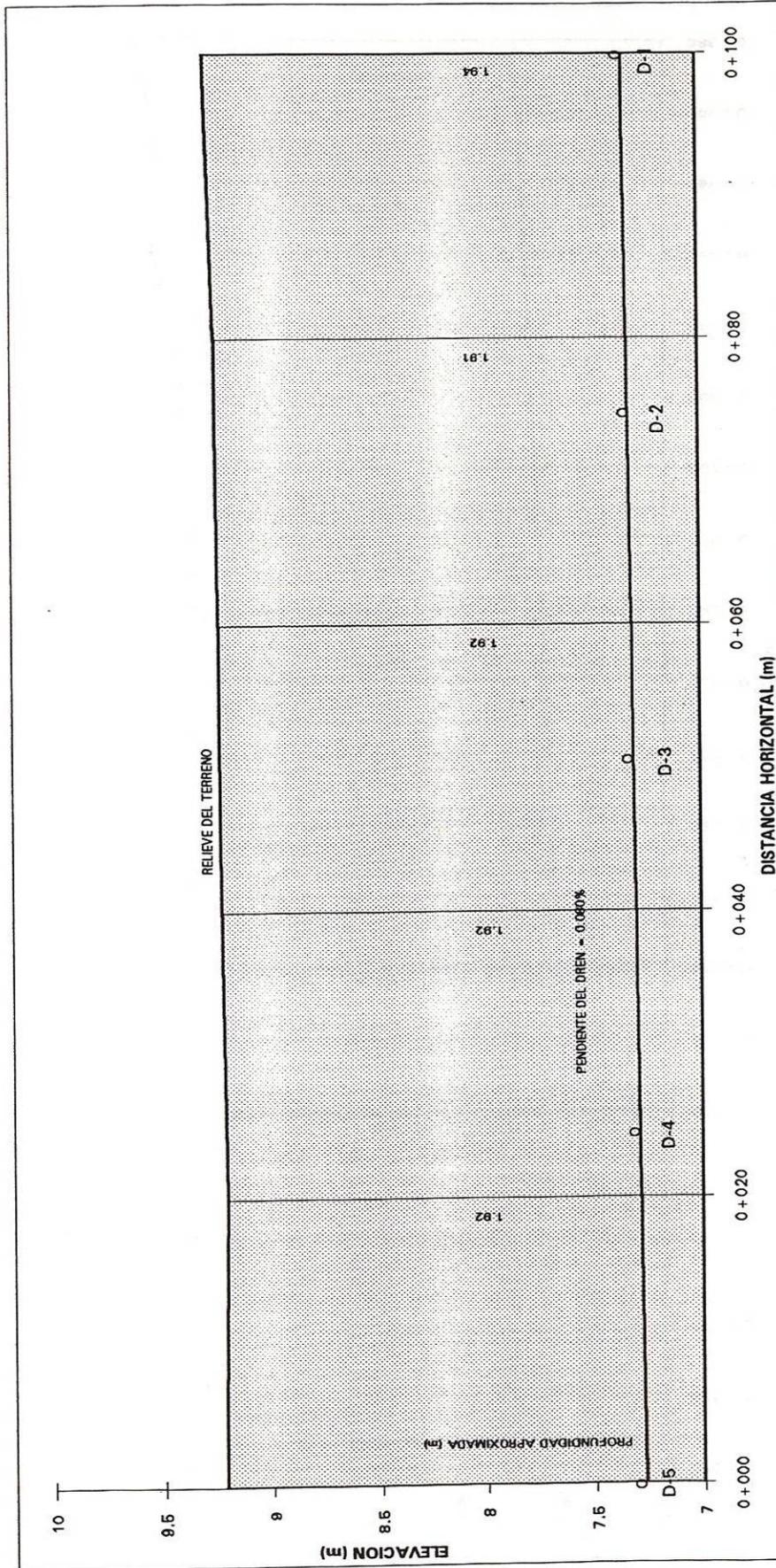


Figura 7 A. Perfil del dren de 6" de diámetro cuerpo derecho del tenedor #1

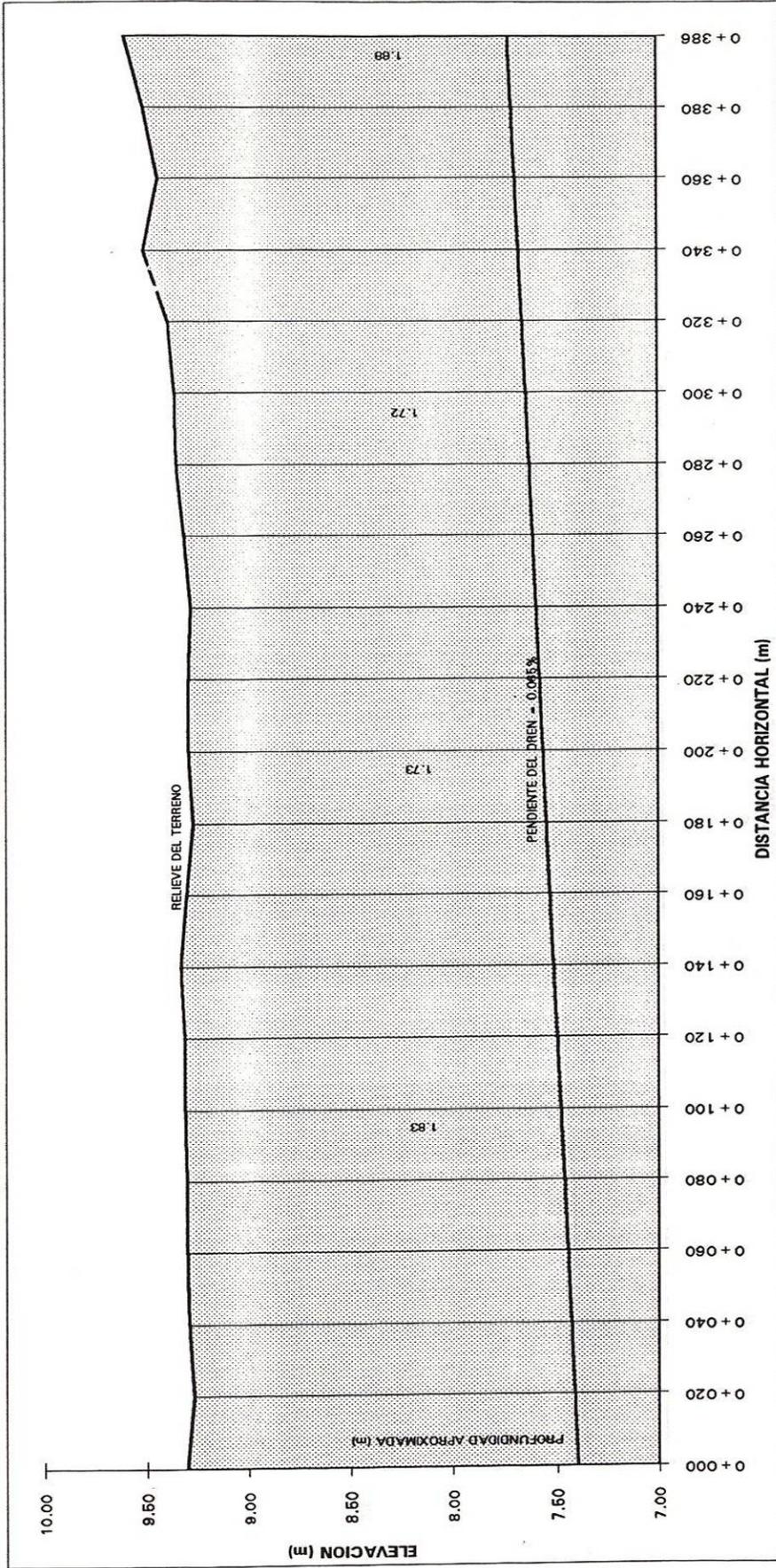


Figura 8 A. Perfil del dren #1 de 4" de diámetro cuerpo derecho del tenedor #1

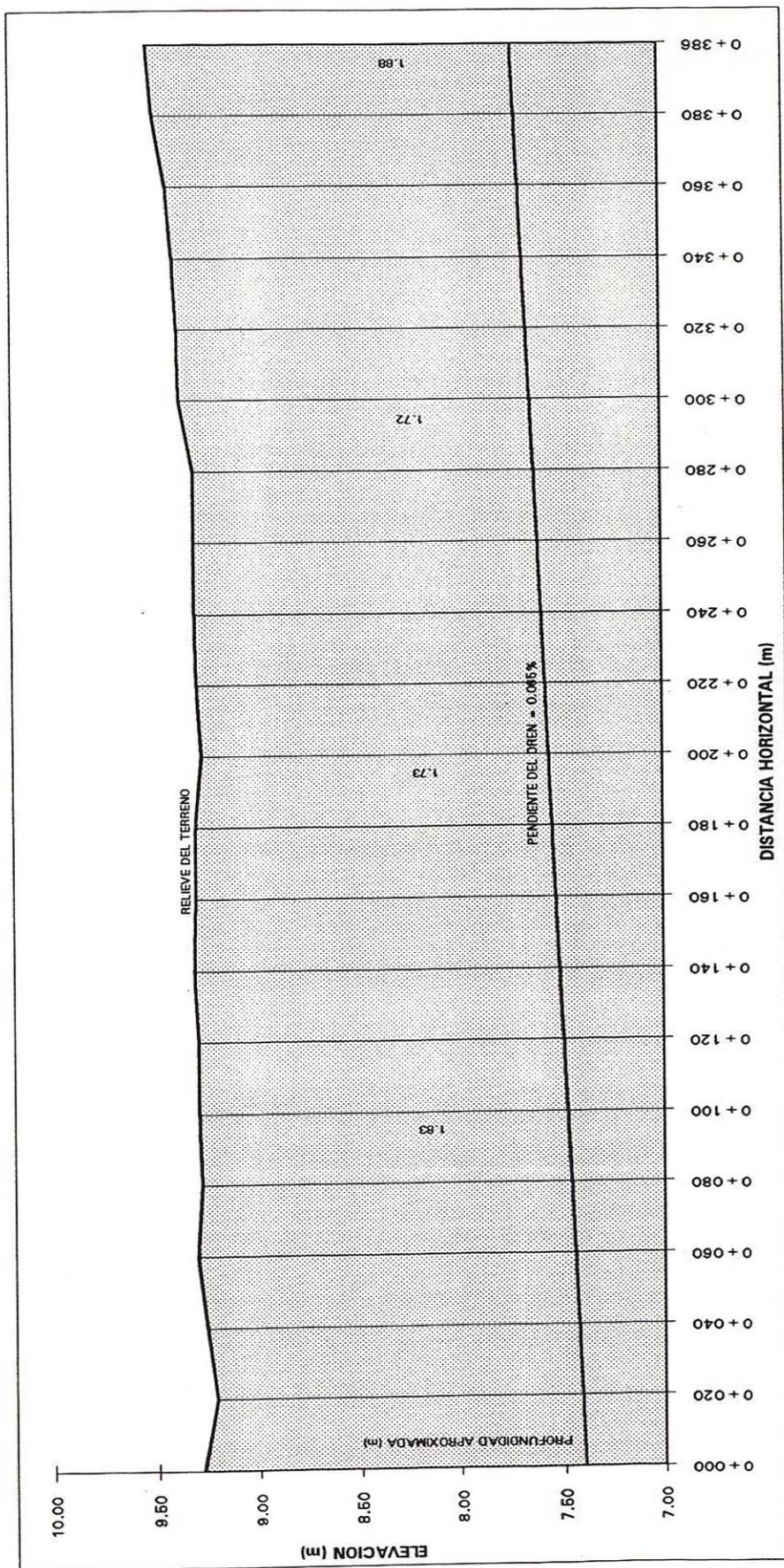


Figura 9 A. Perfil del dren #2 de 4" de diámetro cuerpo derecho del tenedor #1

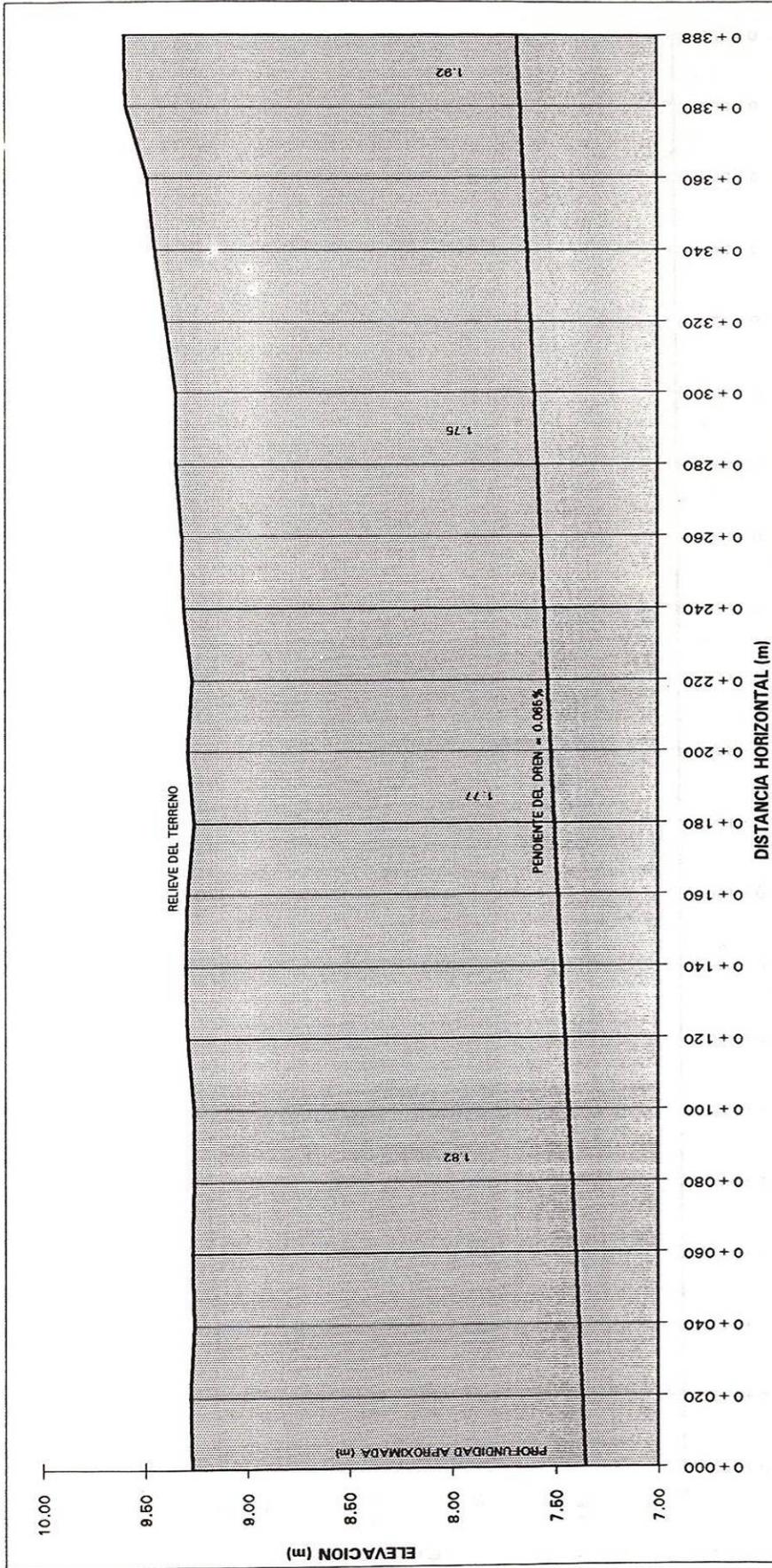


Figura 10 A. Perfil del dren #3 de 4" de diámetro cuerpo derecho del tenedor #1

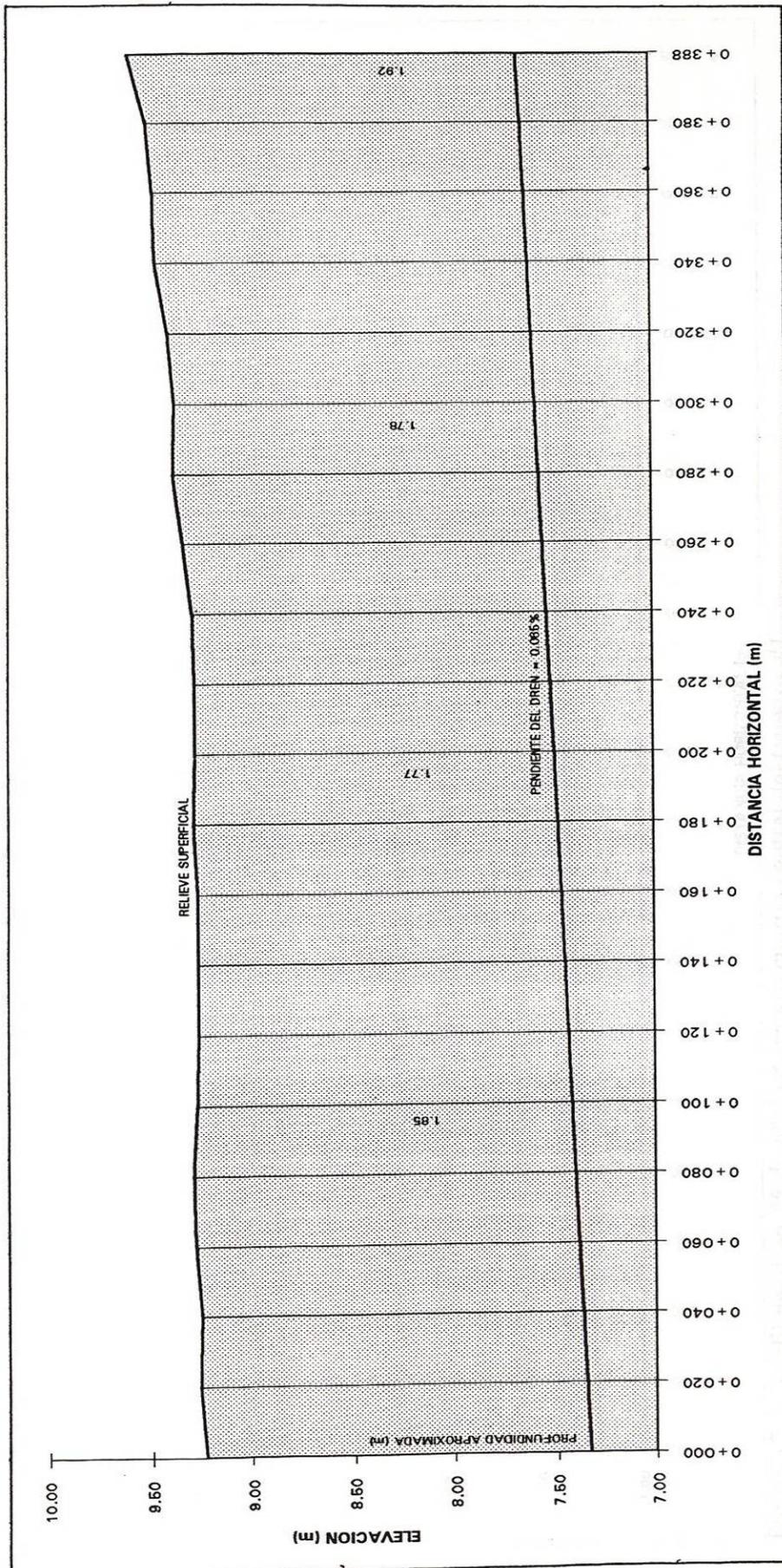


Figura 11 A. Perfil del dren #4 de 4" de diámetro cuerpo derecho del tenedor #1

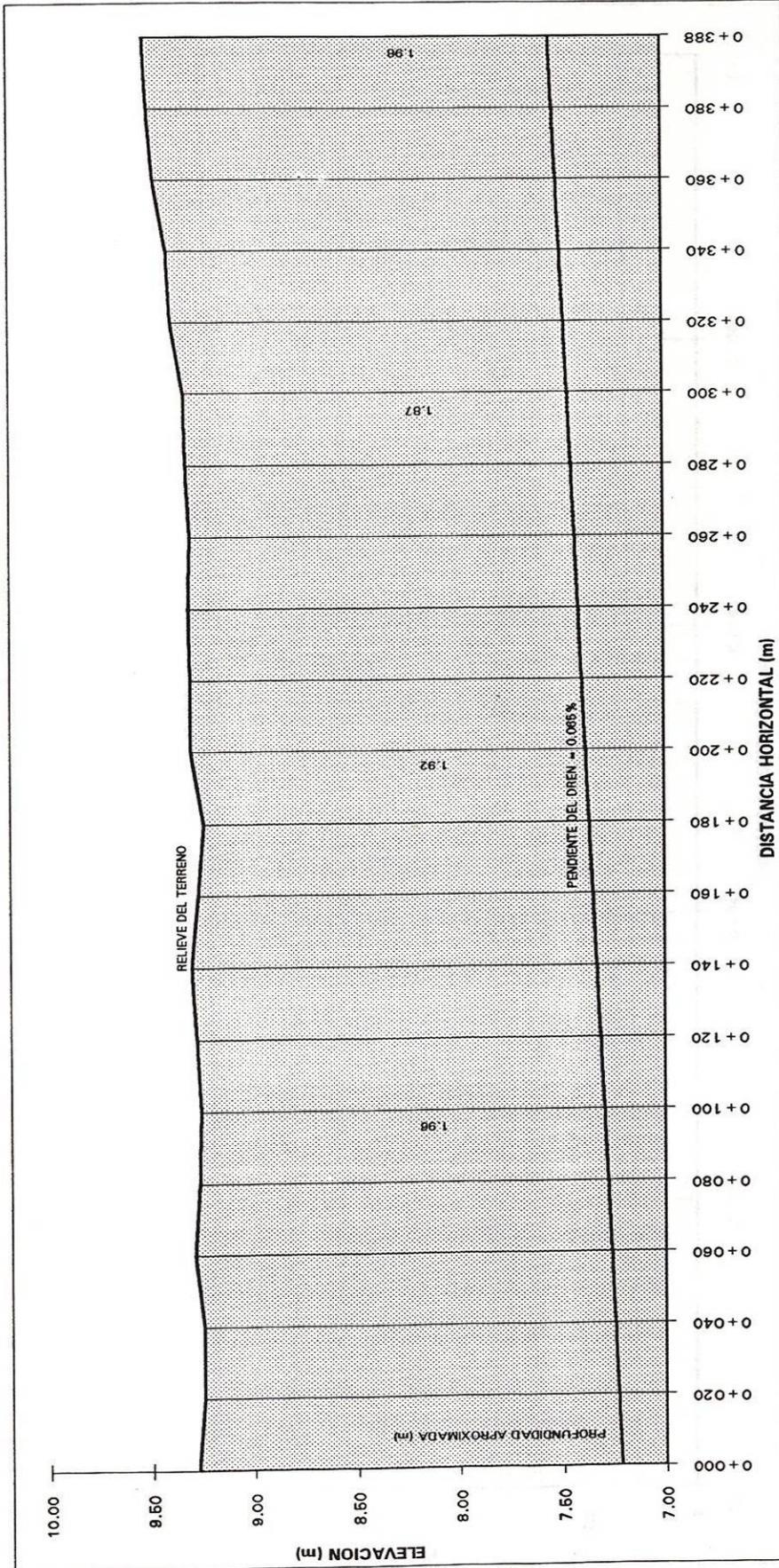


Figura 12 A. Perfil del dren #5 de 4" de diámetro cuerpo central del tenedor #1

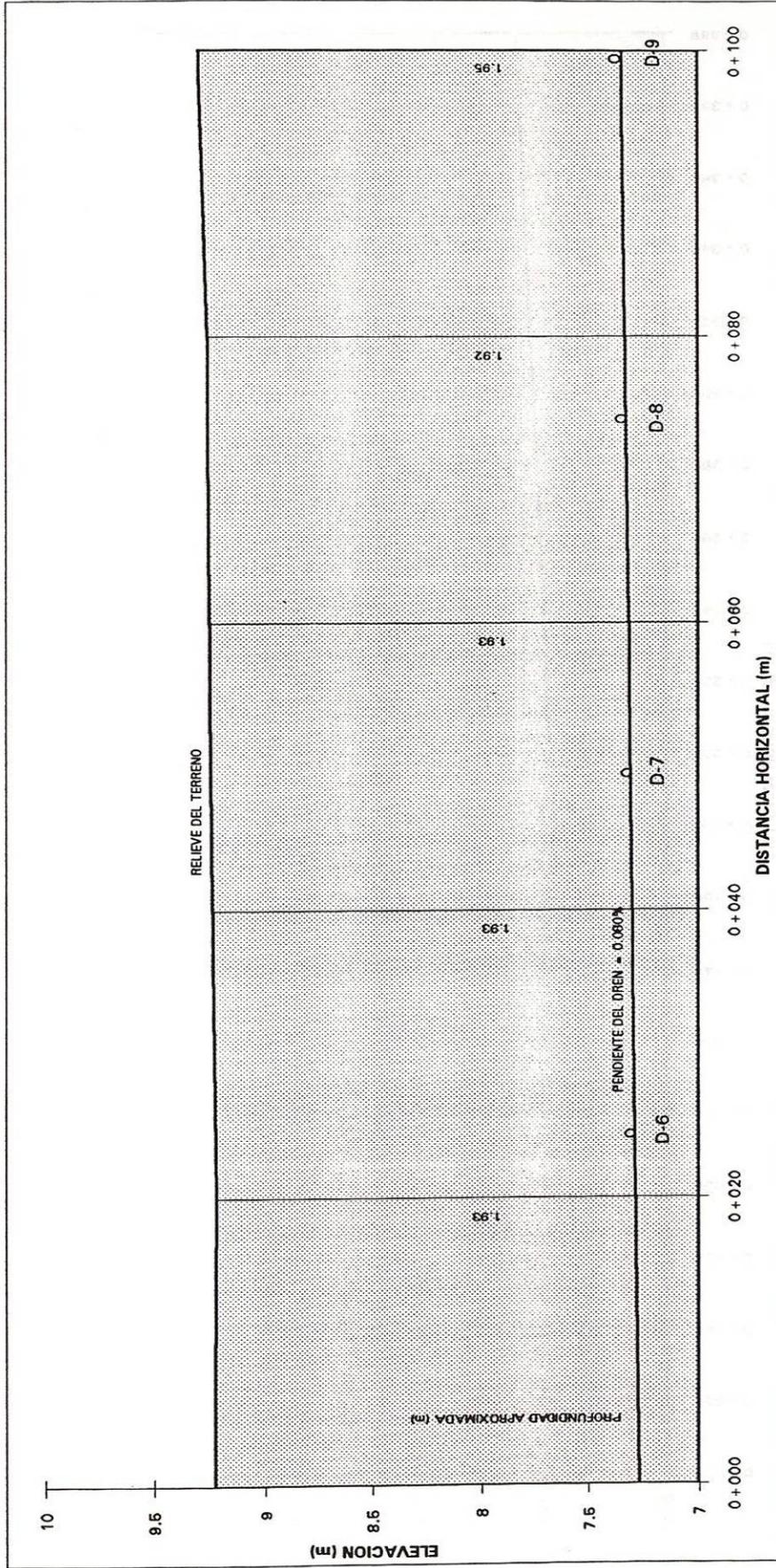


Figura 13 A. Perfil del dren de 6" de diámetro cuerpo izquierdo del tenedor #1

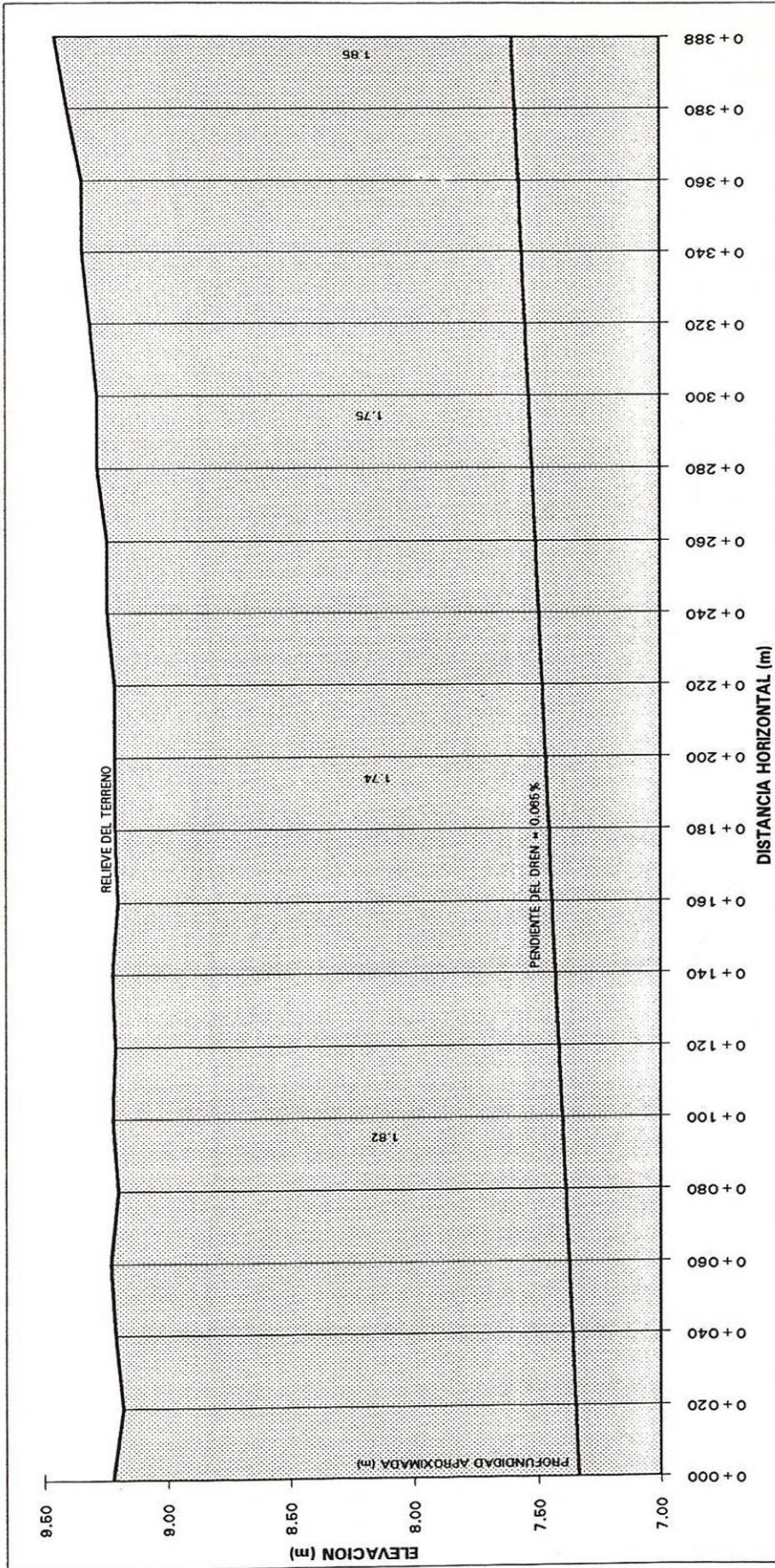


Figura 14 A. Perfil del dren #6 de 4" de diámetro cuerpo izquierdo del tenedor #1

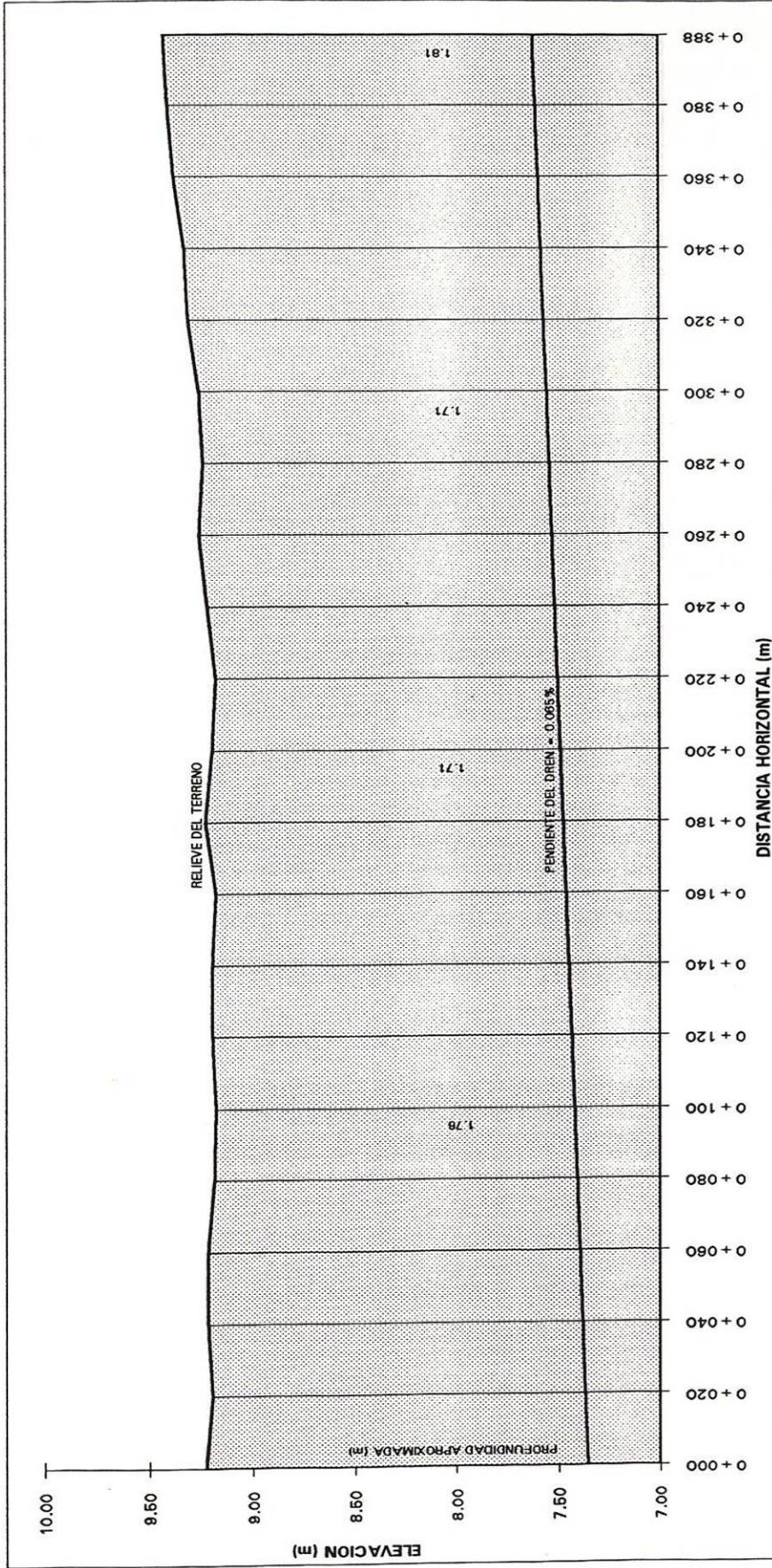


Figura 15 A. Perfil del dren #7 de 4" de diámetro cuerpo izquierdo del tenedor #1

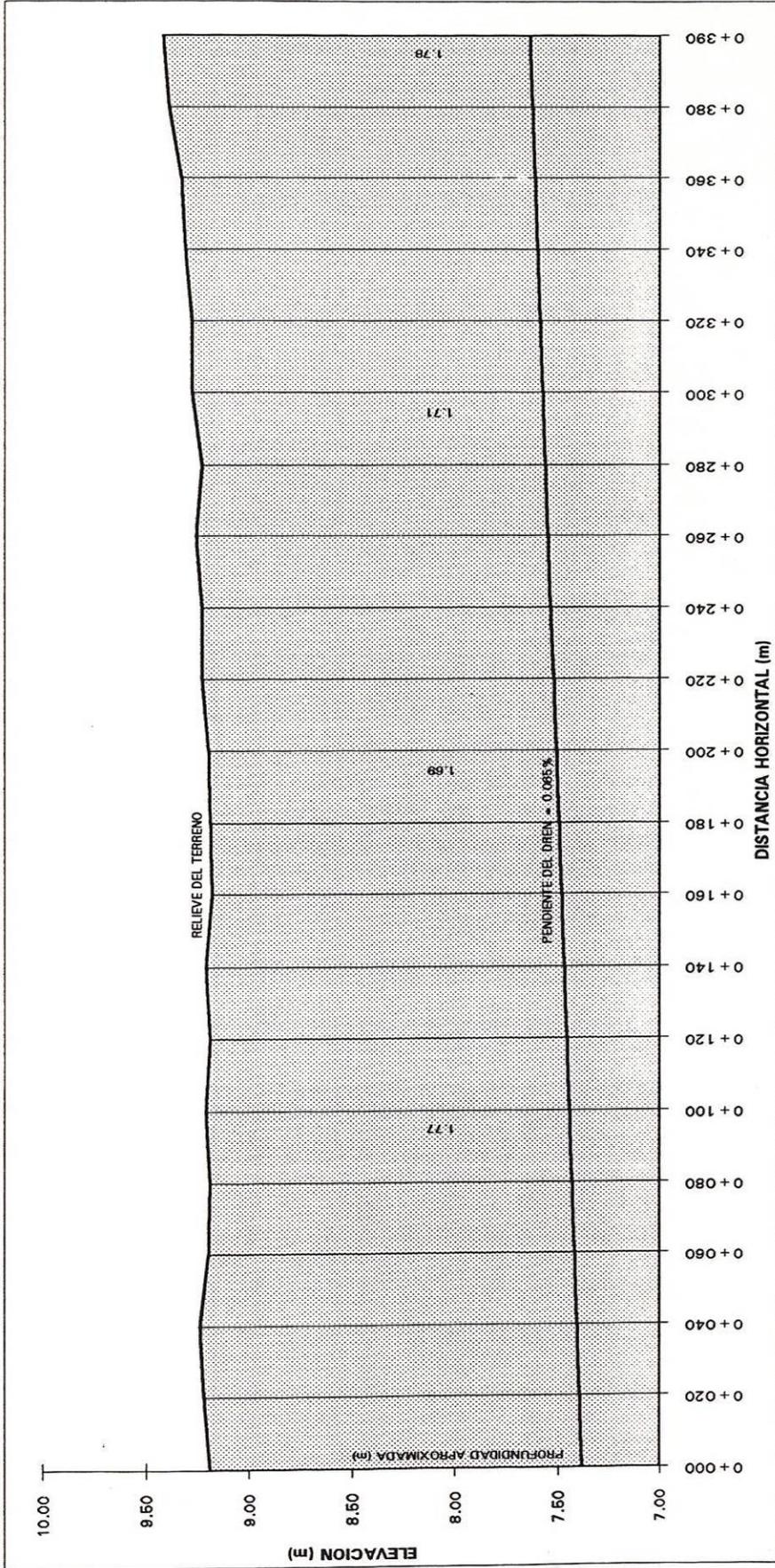


Figura 16 A. Perfil del dren #8 de 4" de diámetro cuerpo izquierdo del tenedor #1

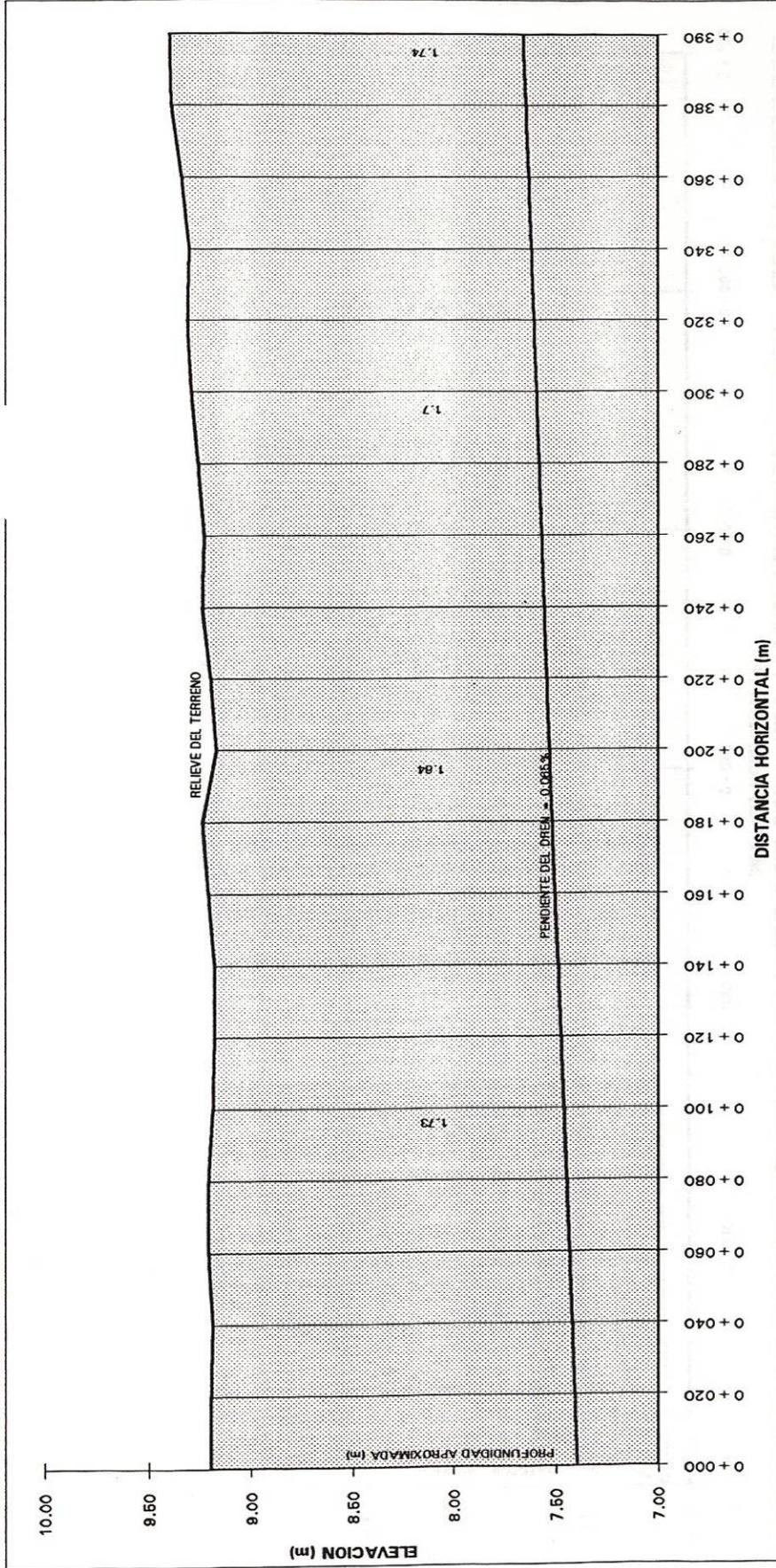


Figura 17 A. Perfil del dren #9 de 4" de diámetro cuerpo izquierdo del tenedor #1

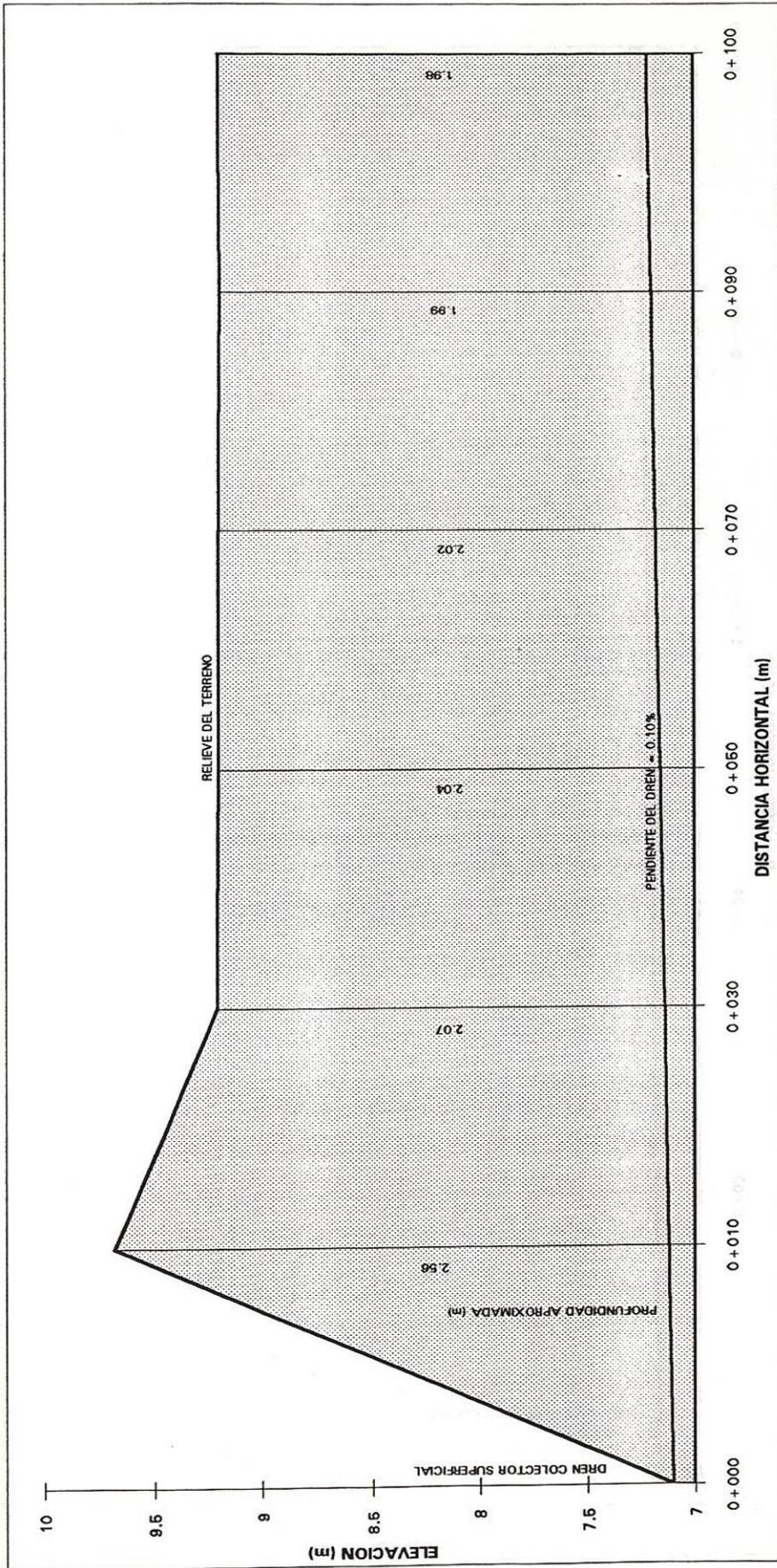


Figura 18 A. Perfil del dren de 8" de diámetro del tenedor #2

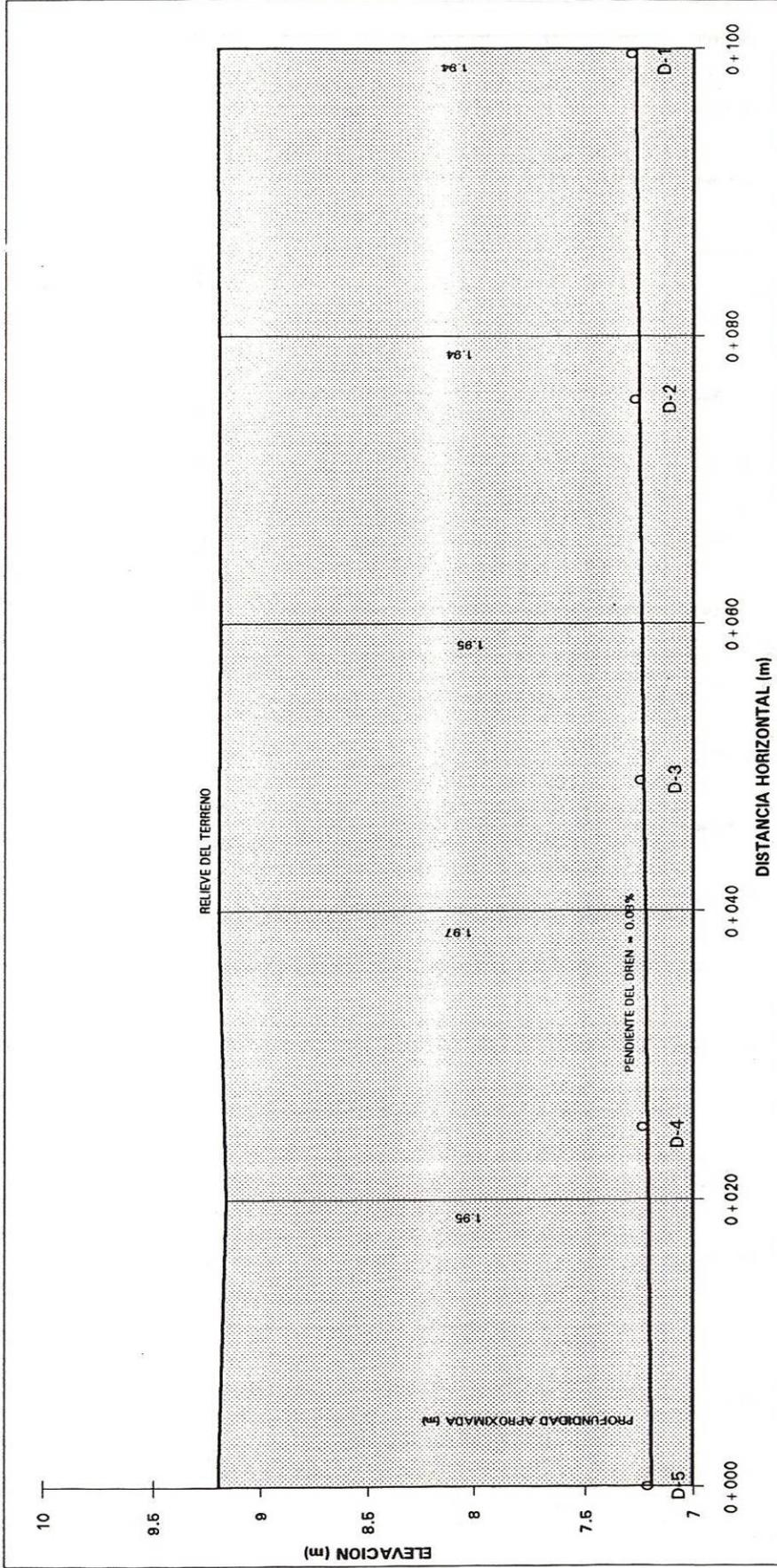


Figura 19 A. Perfil del dren de 6" de diámetro cuerpo derecho del tenedor #2

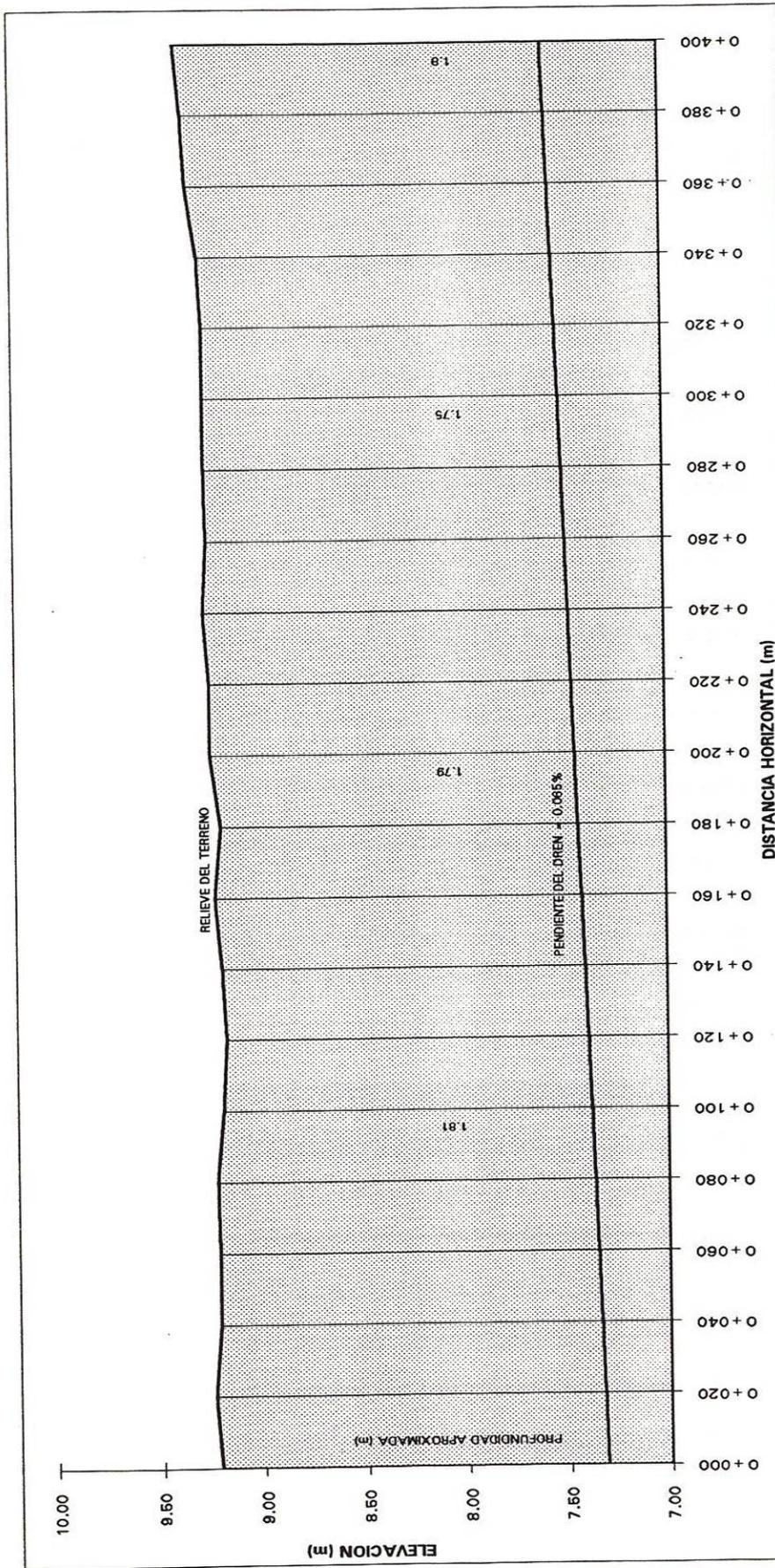


Figura 20 A. Perfil del dren #1 de 4" de diámetro cuerpo derecho del tenedor #2

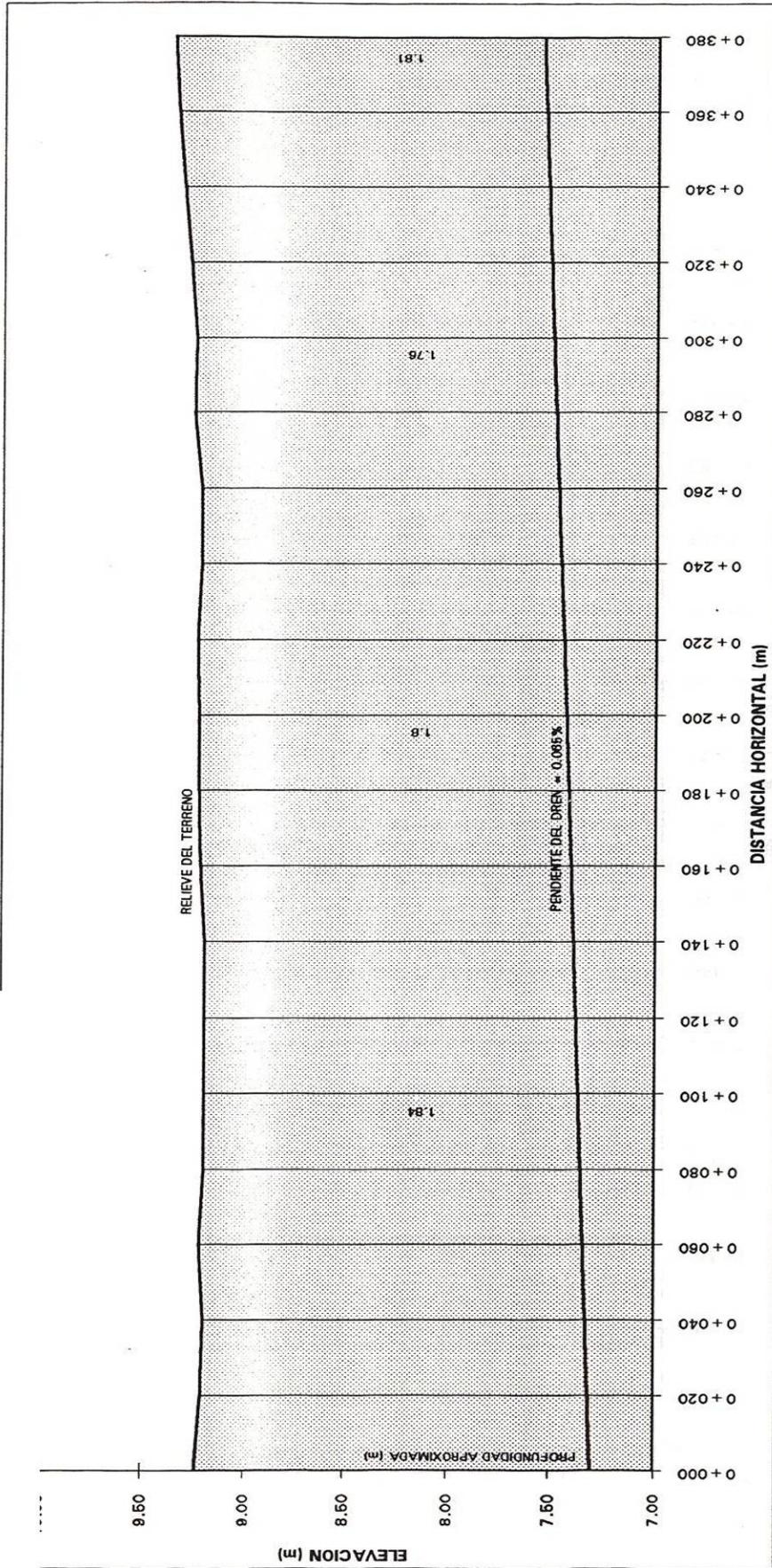


Figura 21 A. Perfil del dren #2 de 4" de diámetro cuerpo derecho del tenedor #2

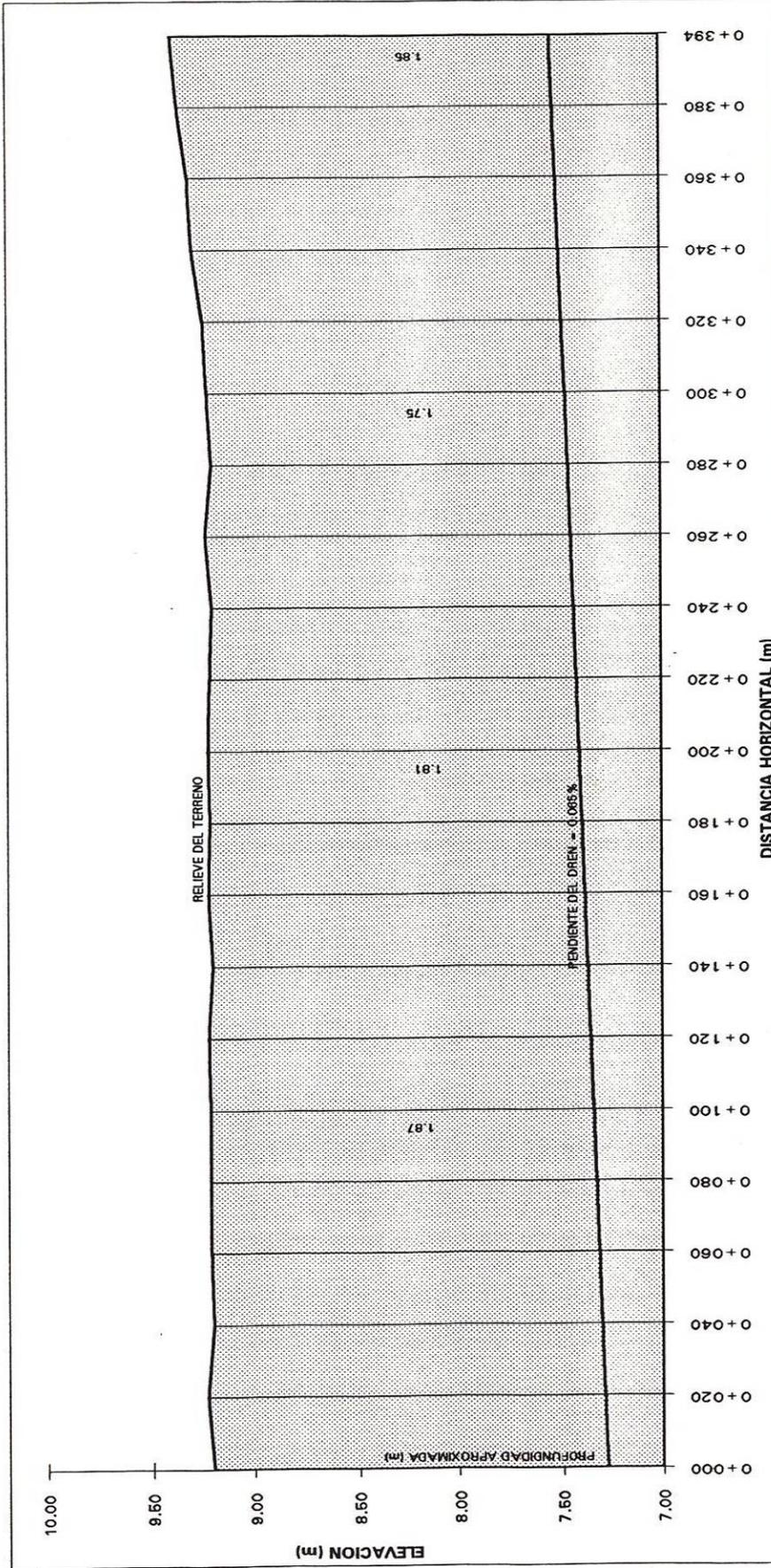


Figura 22 A. Perfil del dren #3 de 4" de diámetro cuerpo derecho del tenedor #2

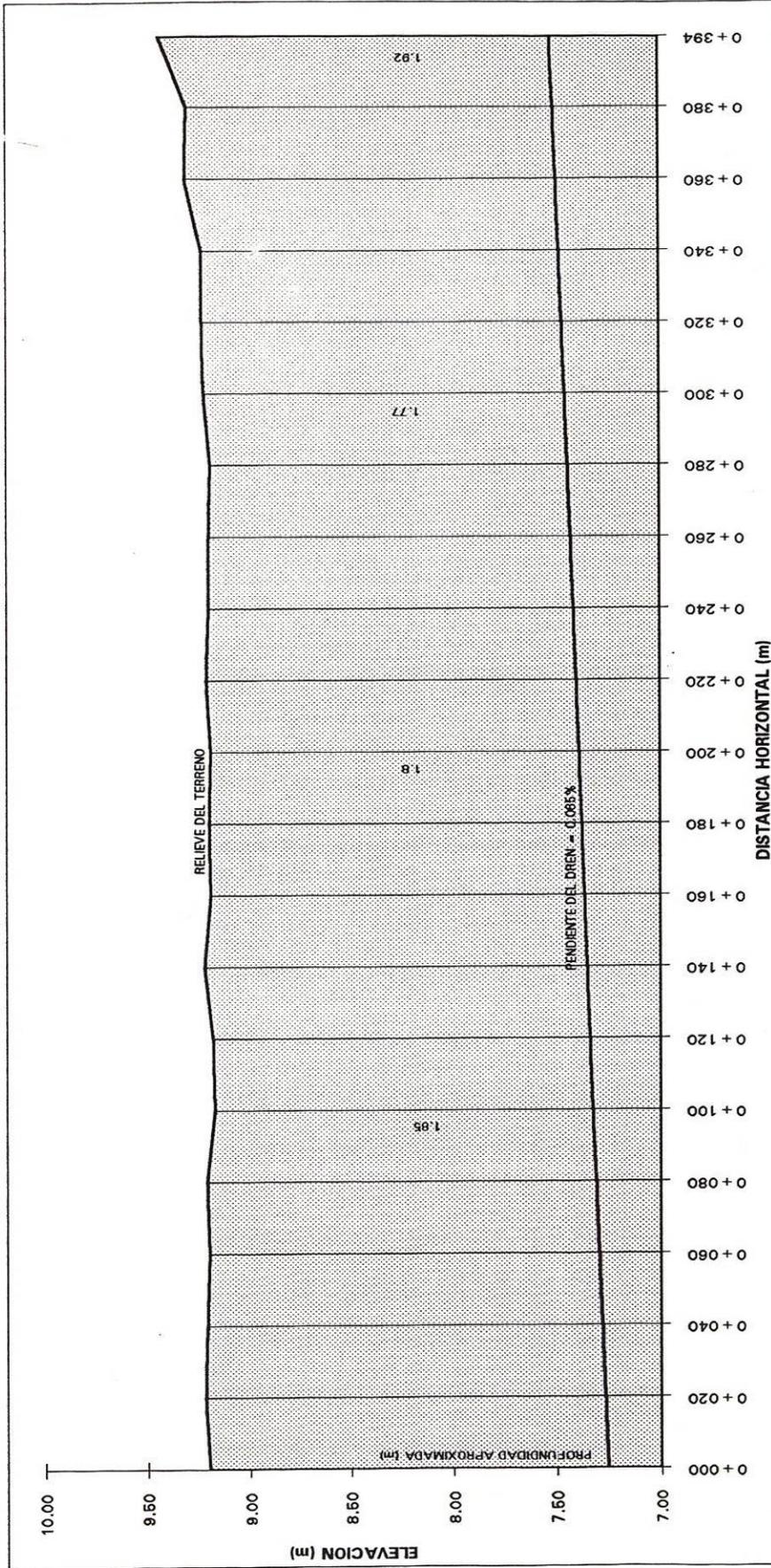


Figura 23 A. Perfil del dren #4 de 4" de diámetro cuerpo derecho del tenedor #2

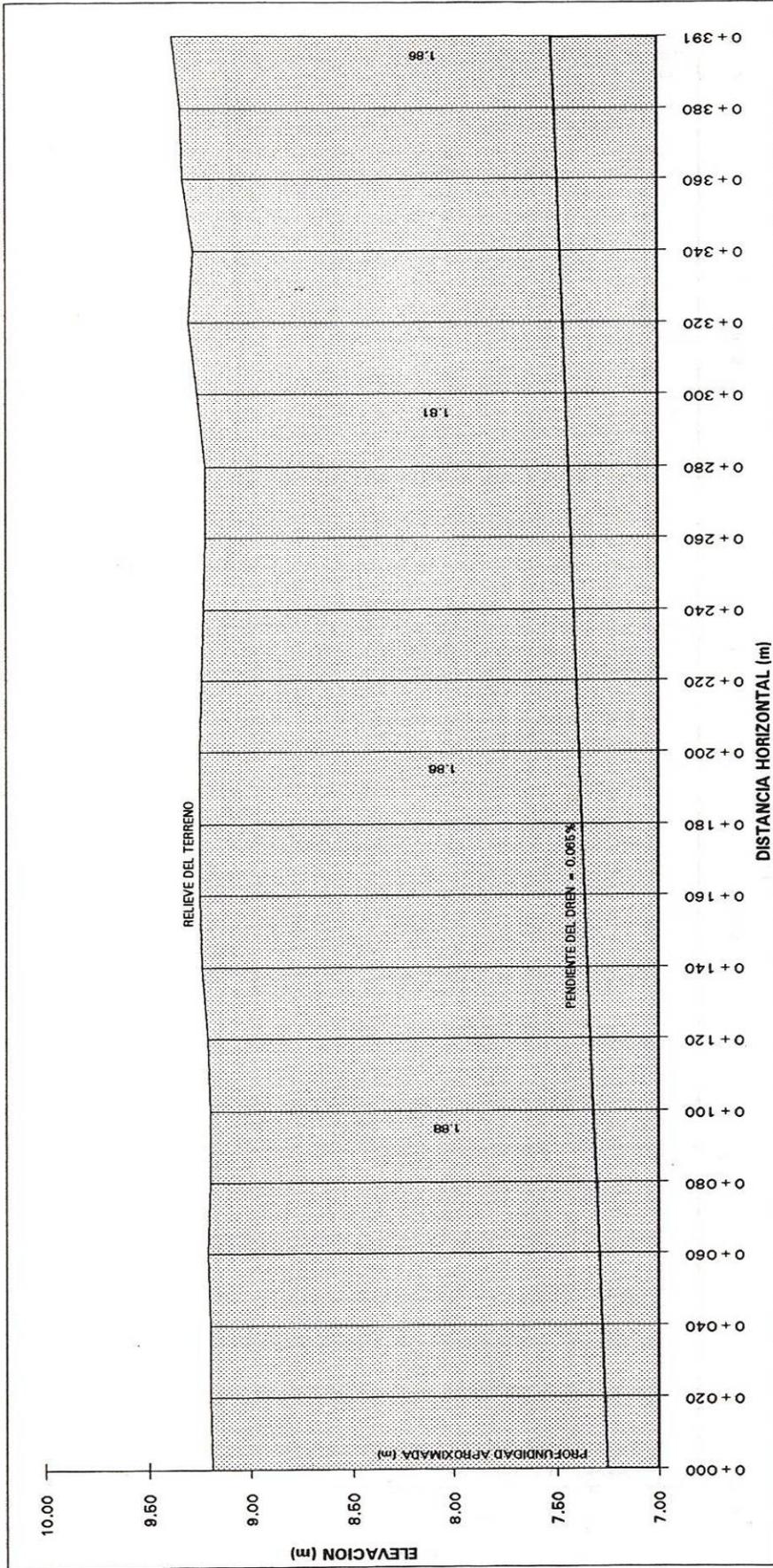


Figura 24 A. Perfil del dren #5 de 4" de diámetro cuerpo central del tenedor #2

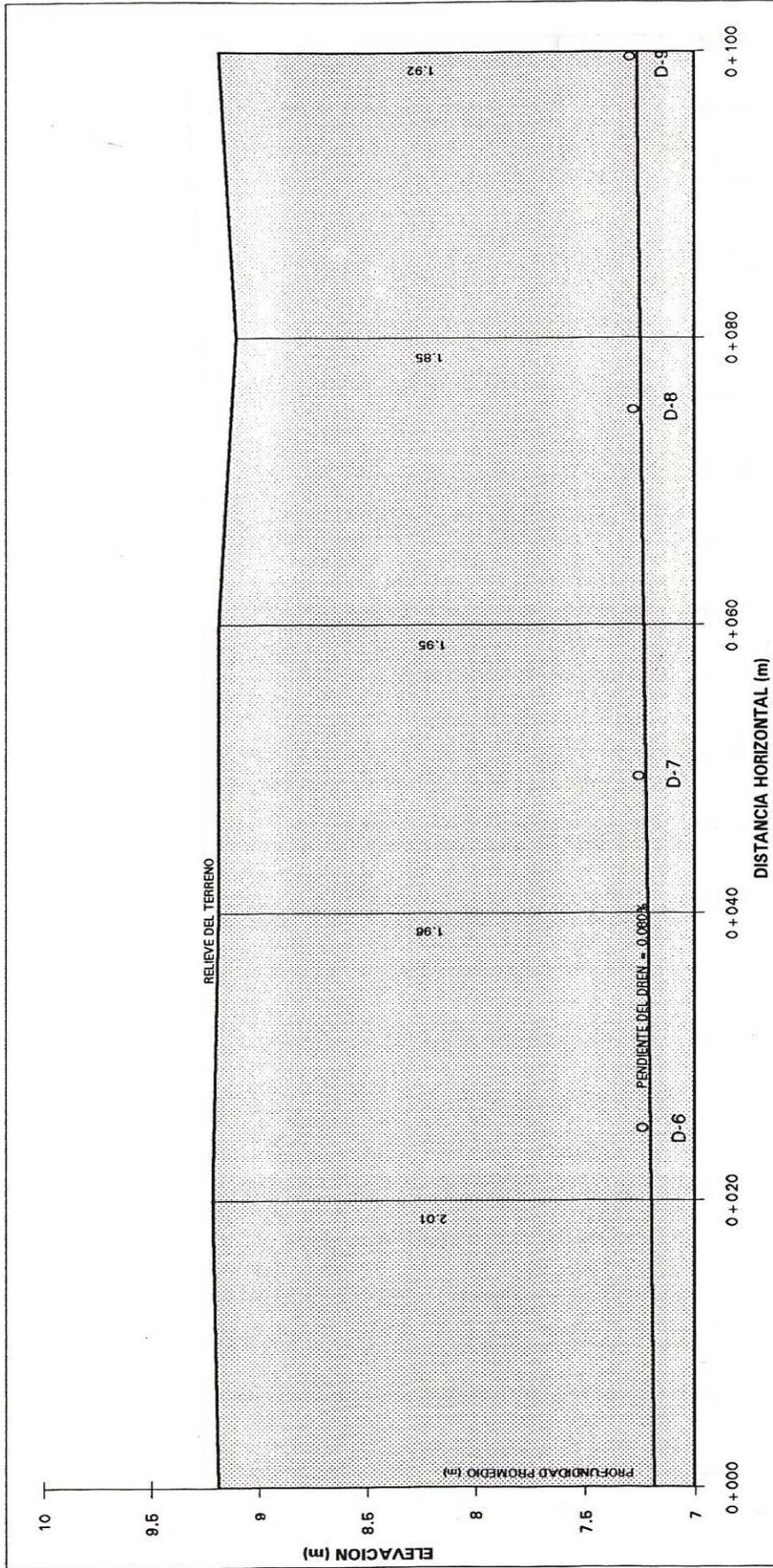


Figura 25 A. Perfil del dren de 6" de diámetro cuerpo izquierdo del tenedor #2

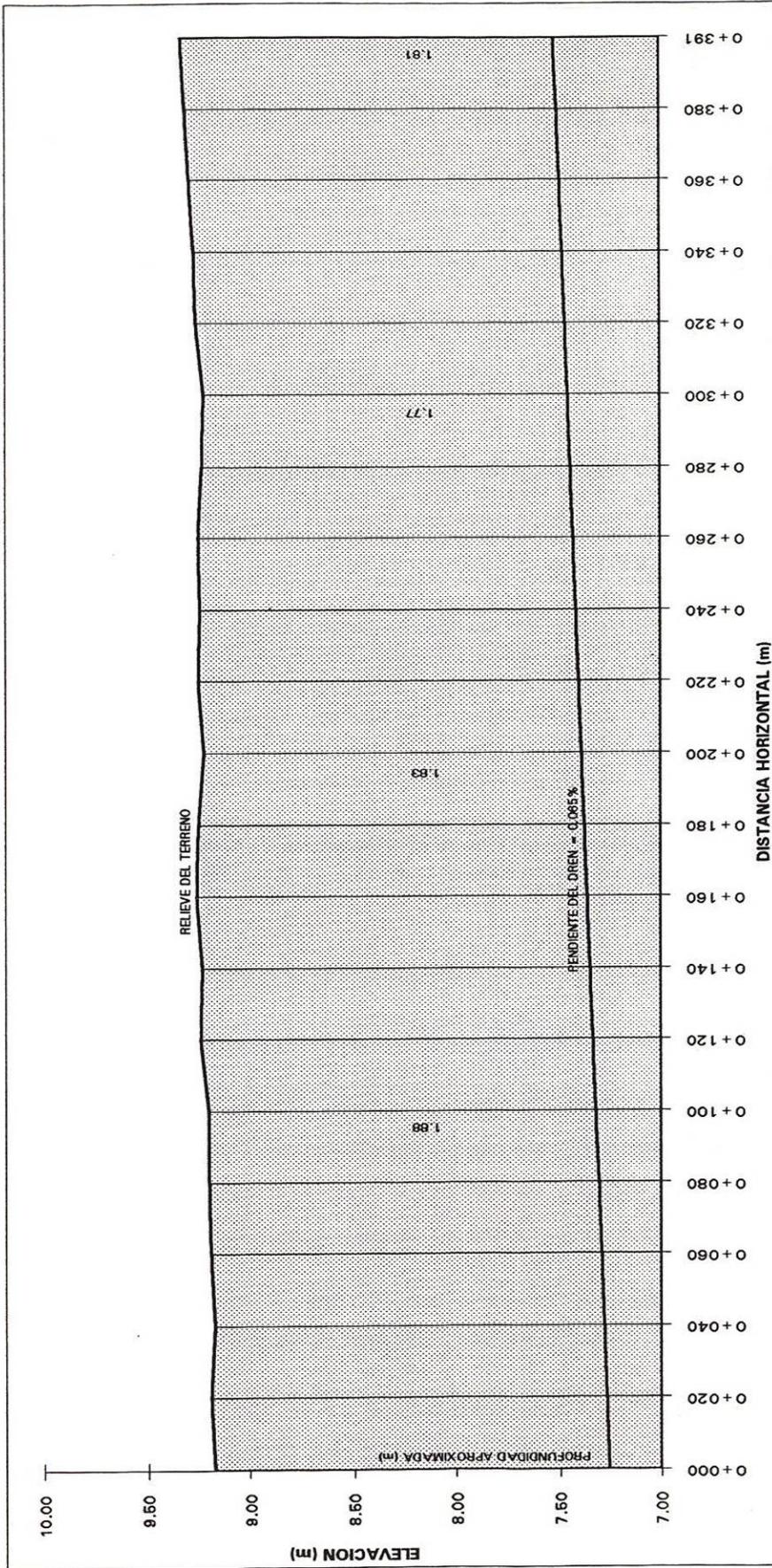


Figura 26 A. Perfil del dren #6 de 4" de diámetro cuerpo izquierdo del tenedor #2

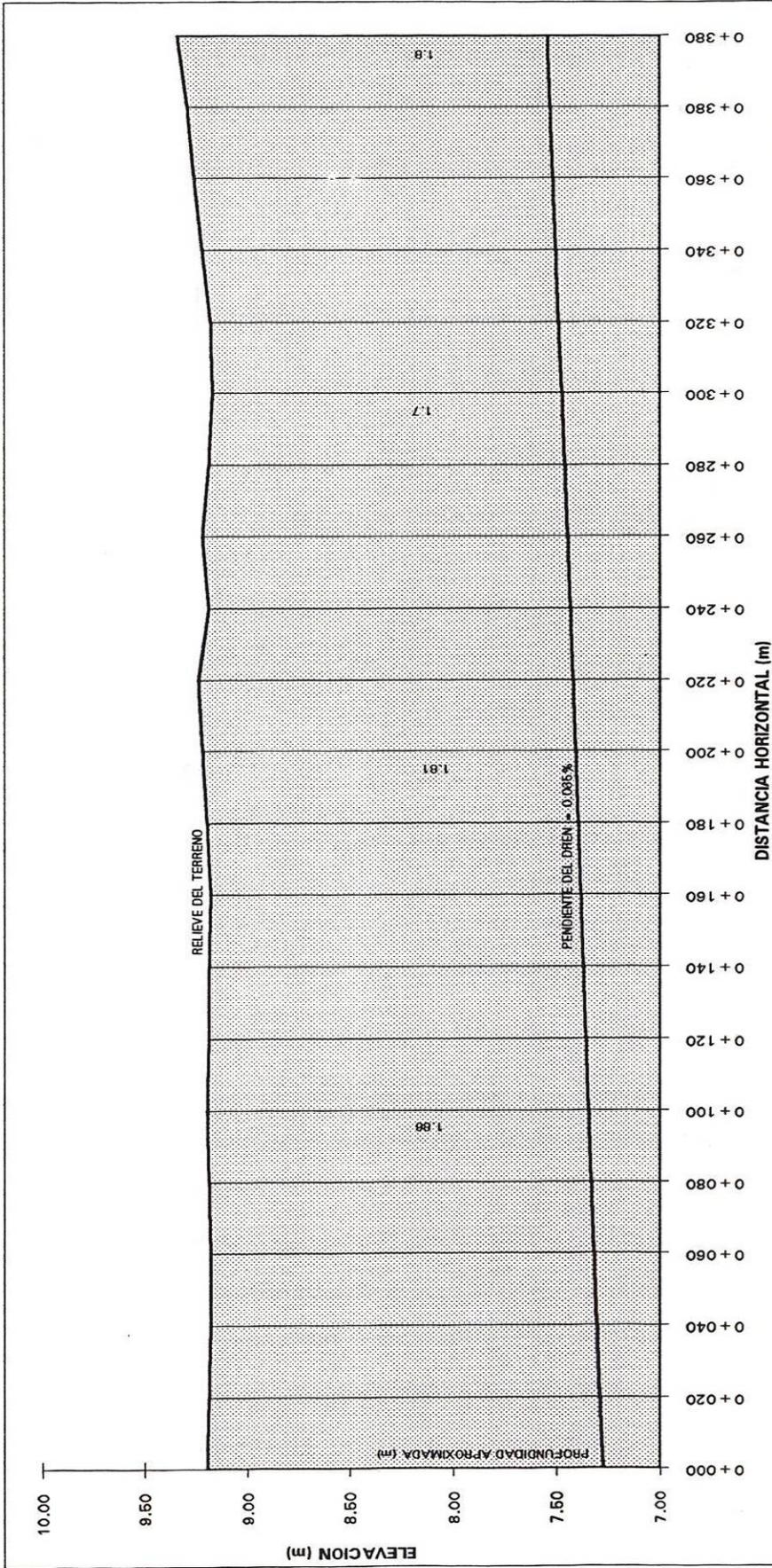


Figura 27 A. Perfil del dren #7 de 4" de diámetro cuerpo izquierdo del tenedor #2

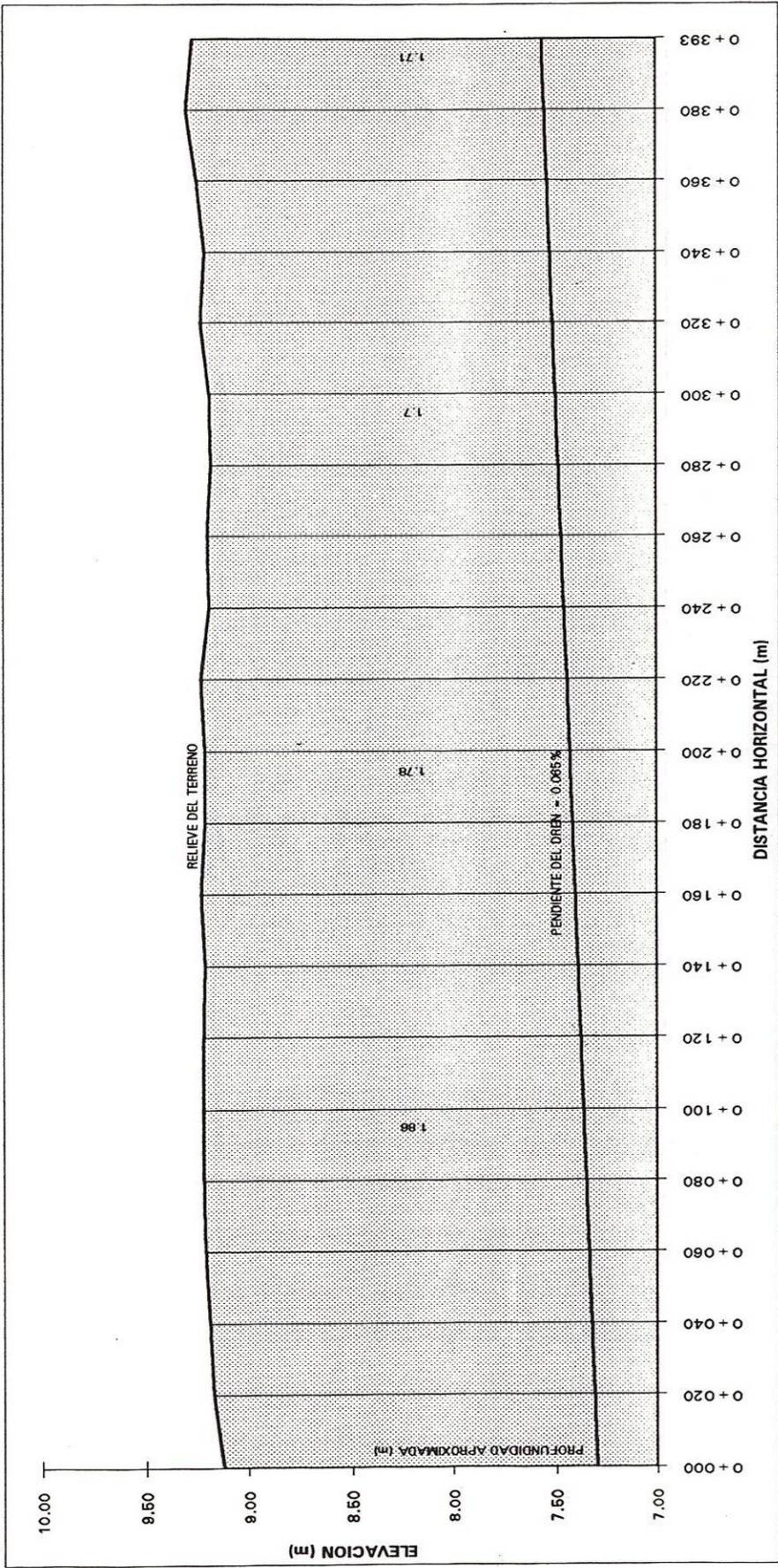


Figura 28 A. Perfil del dren #8 de 4" de diámetro cuerpo izquierdo del tenedor #2

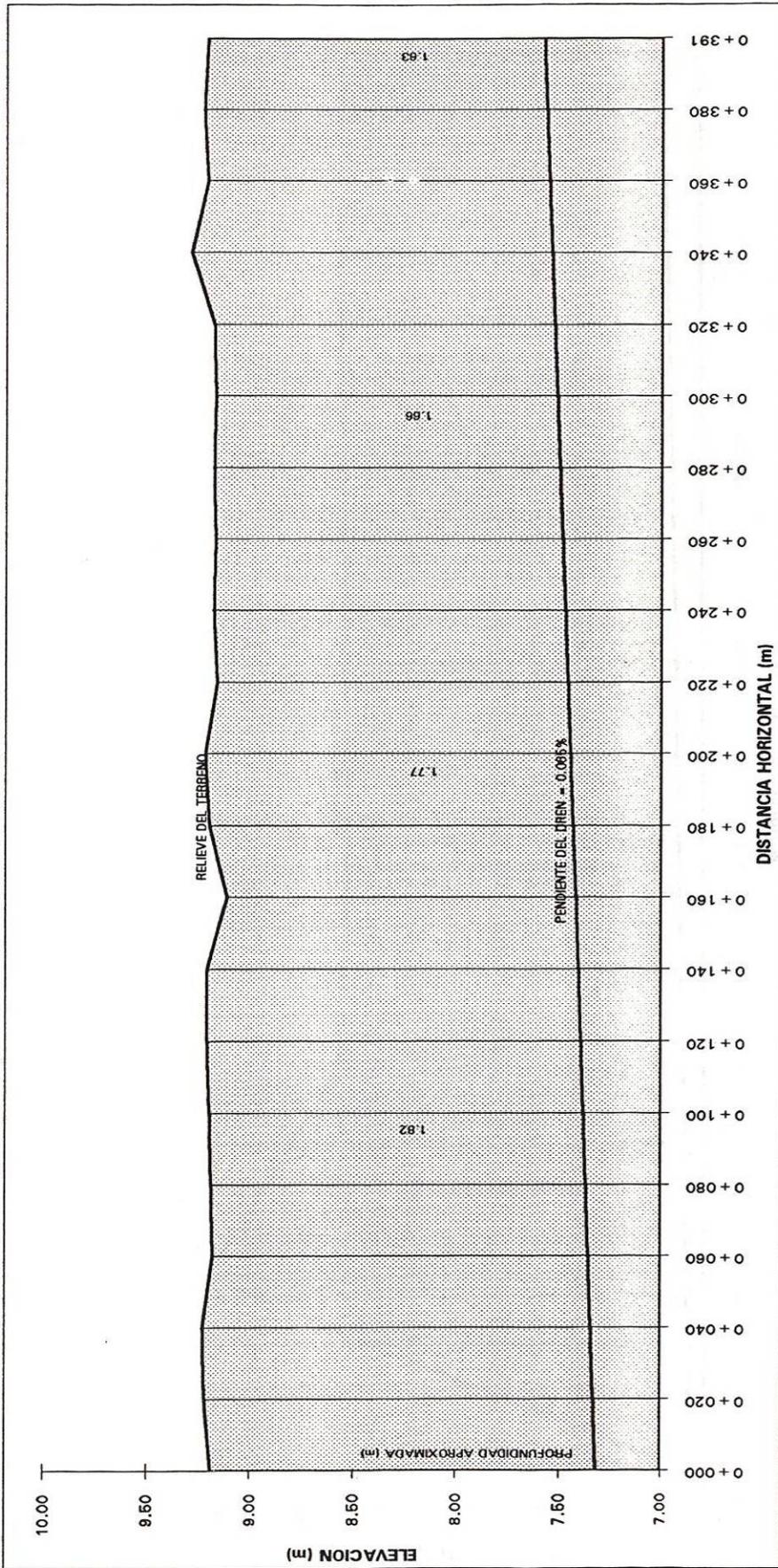


Figura 29 A. Perfil del dren #9 de 4" de diámetro cuerpo izquierdo del tenedor #2

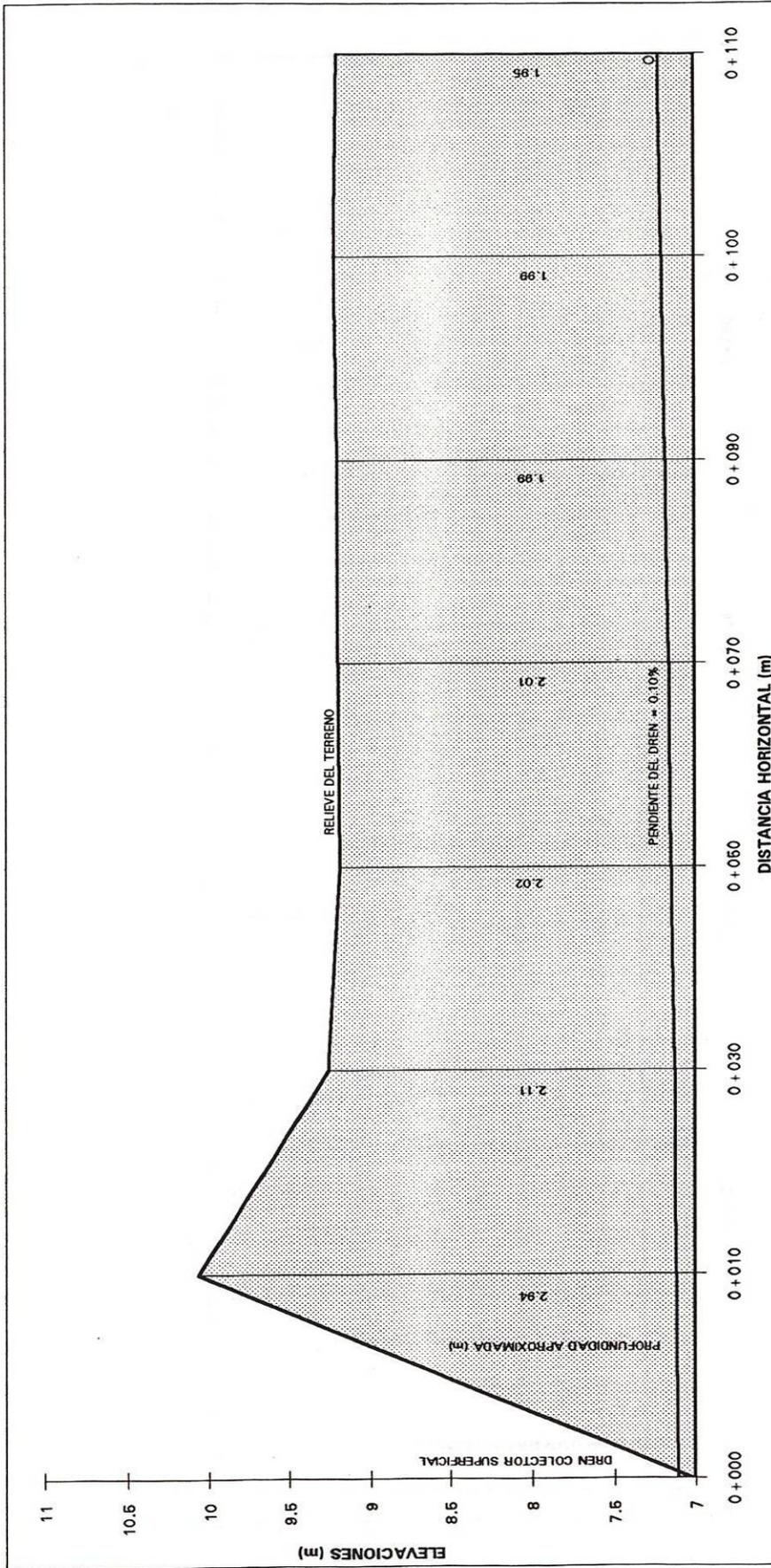


Figura 30 A. Perfil del dren de 8" de diámetro del tenedor #3

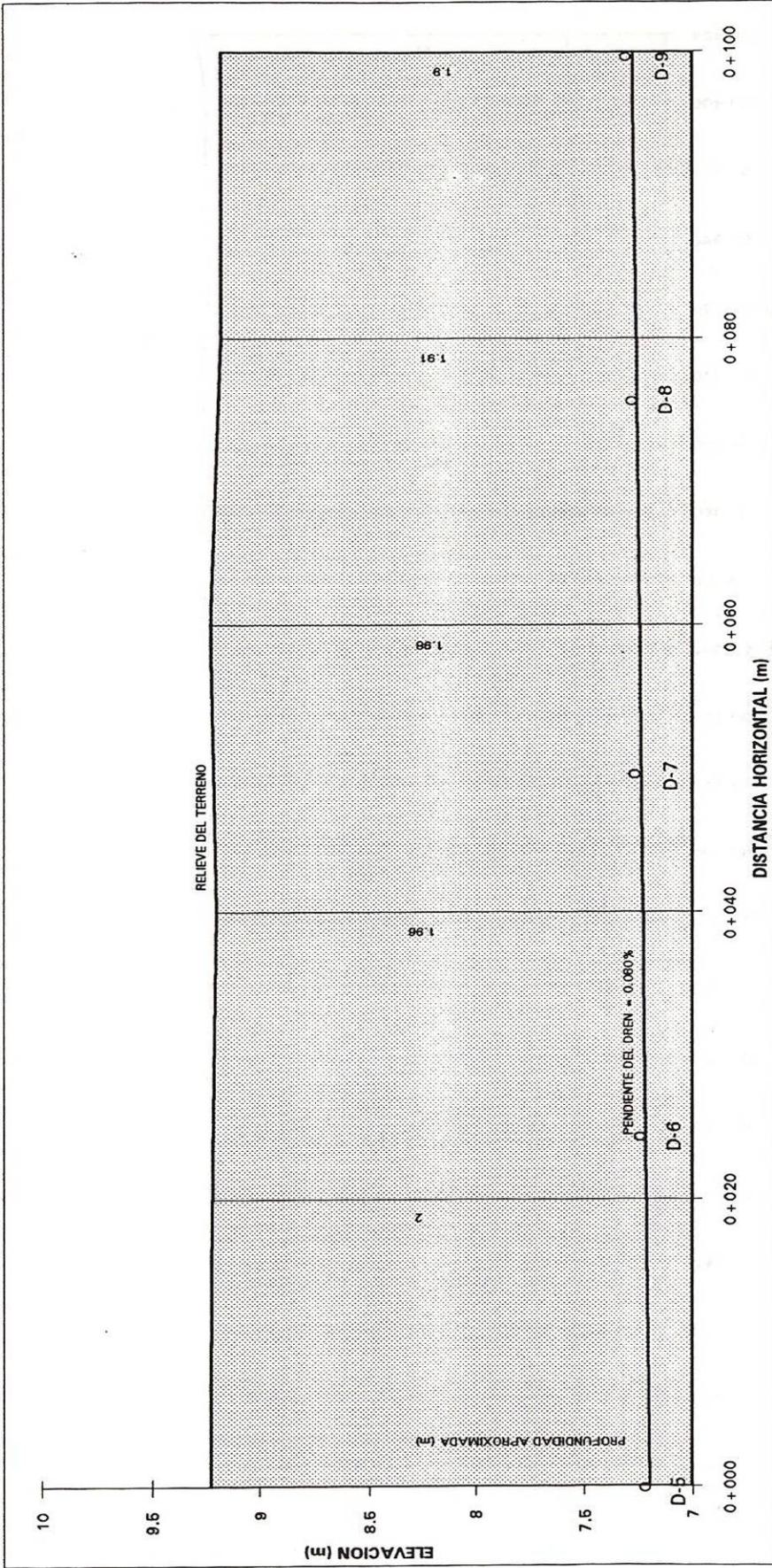


Figura 31 A. Perfil del dren de 6" de diámetro cuerpo derecho del tenedor #3

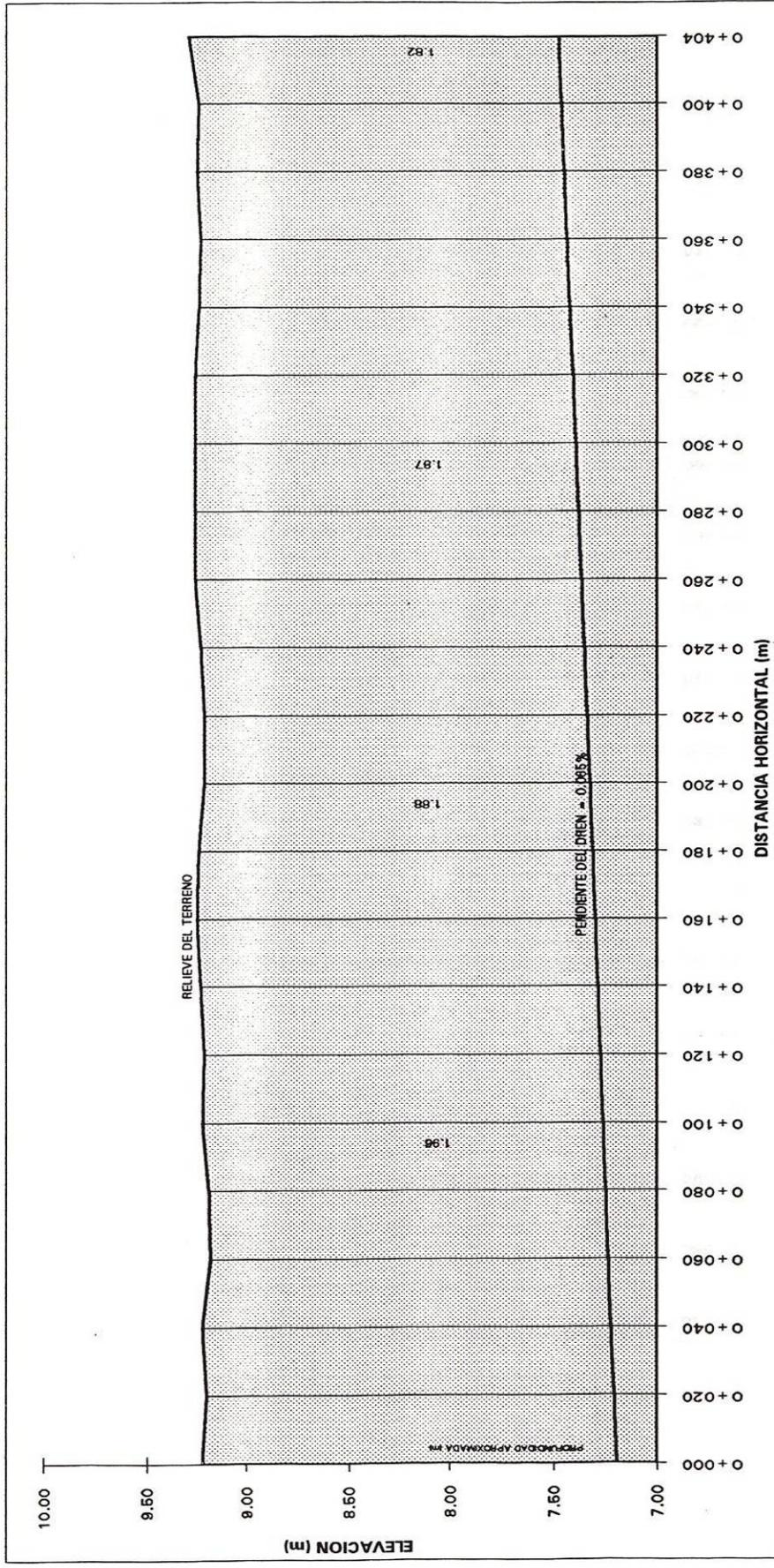


Figura 32 A. Perfil del dren #1 de 4" de diámetro cuerpo derecho del teneador #3

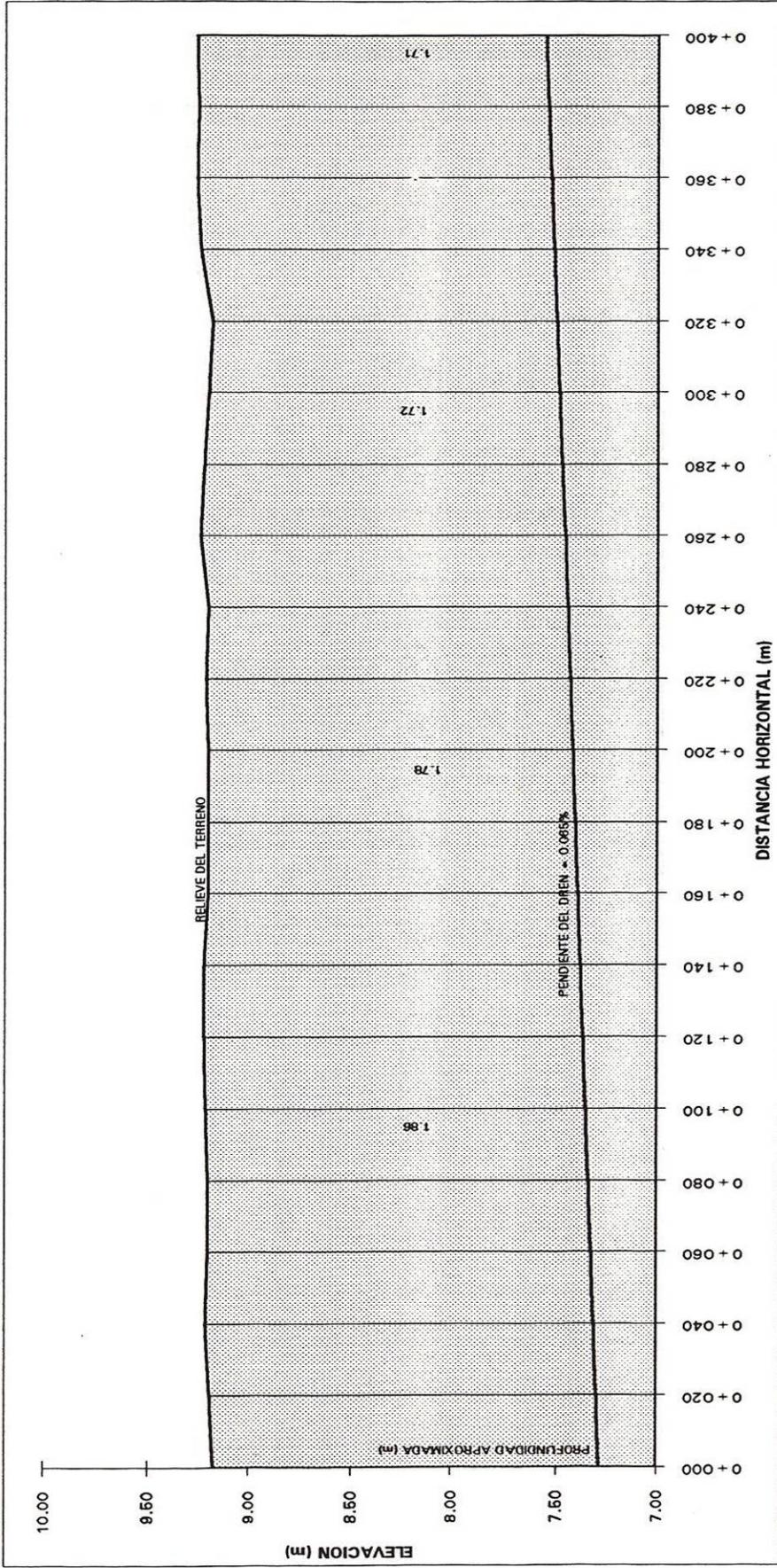


Figura 33 A. Perfil del dren #2 de 4" de diámetro cuerpo derecho del tenedor #3

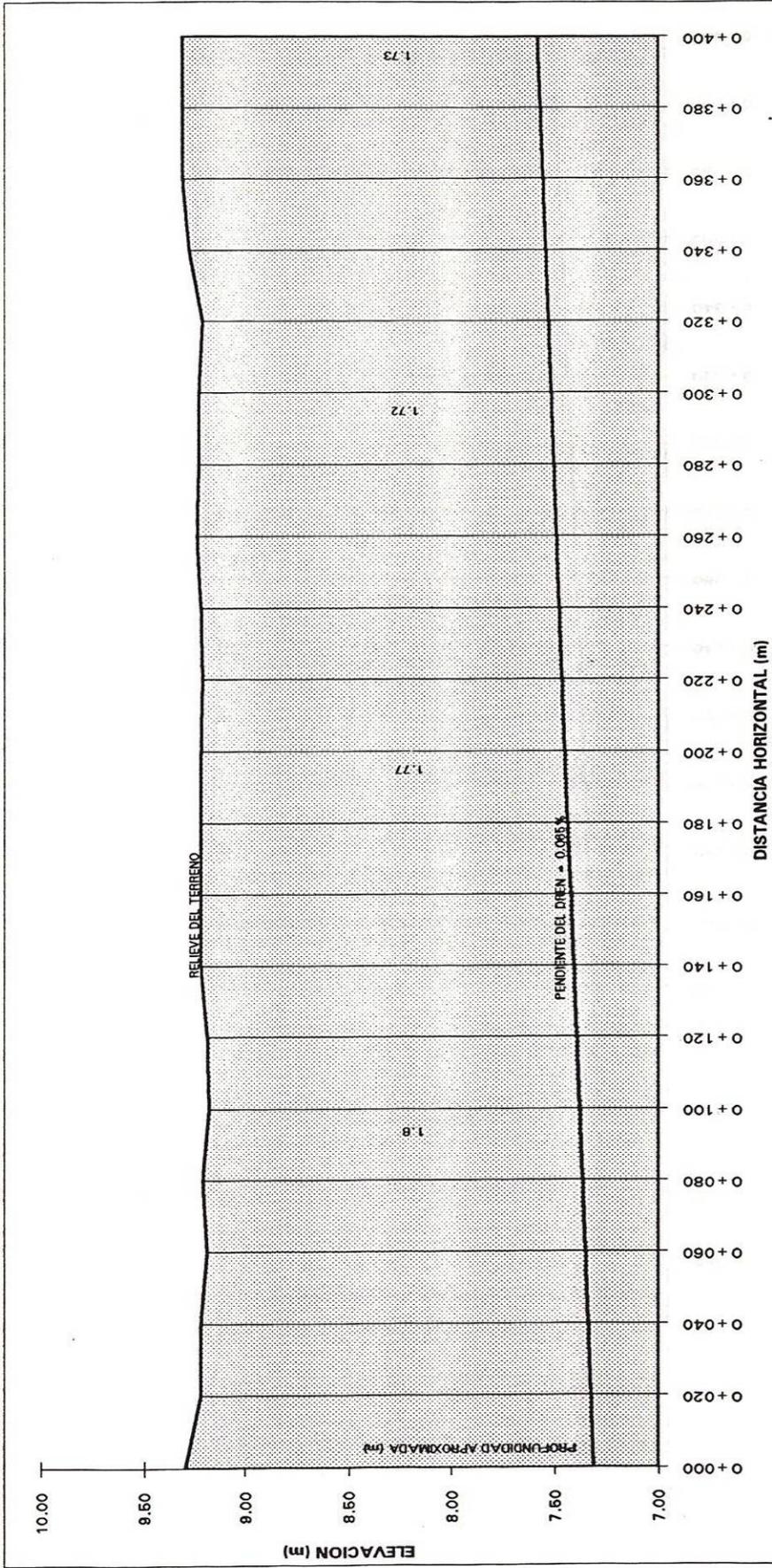


Figura 34 A..Perfil del dren #3 de 4" de diámetro cuerpo derecho del tenedor #3

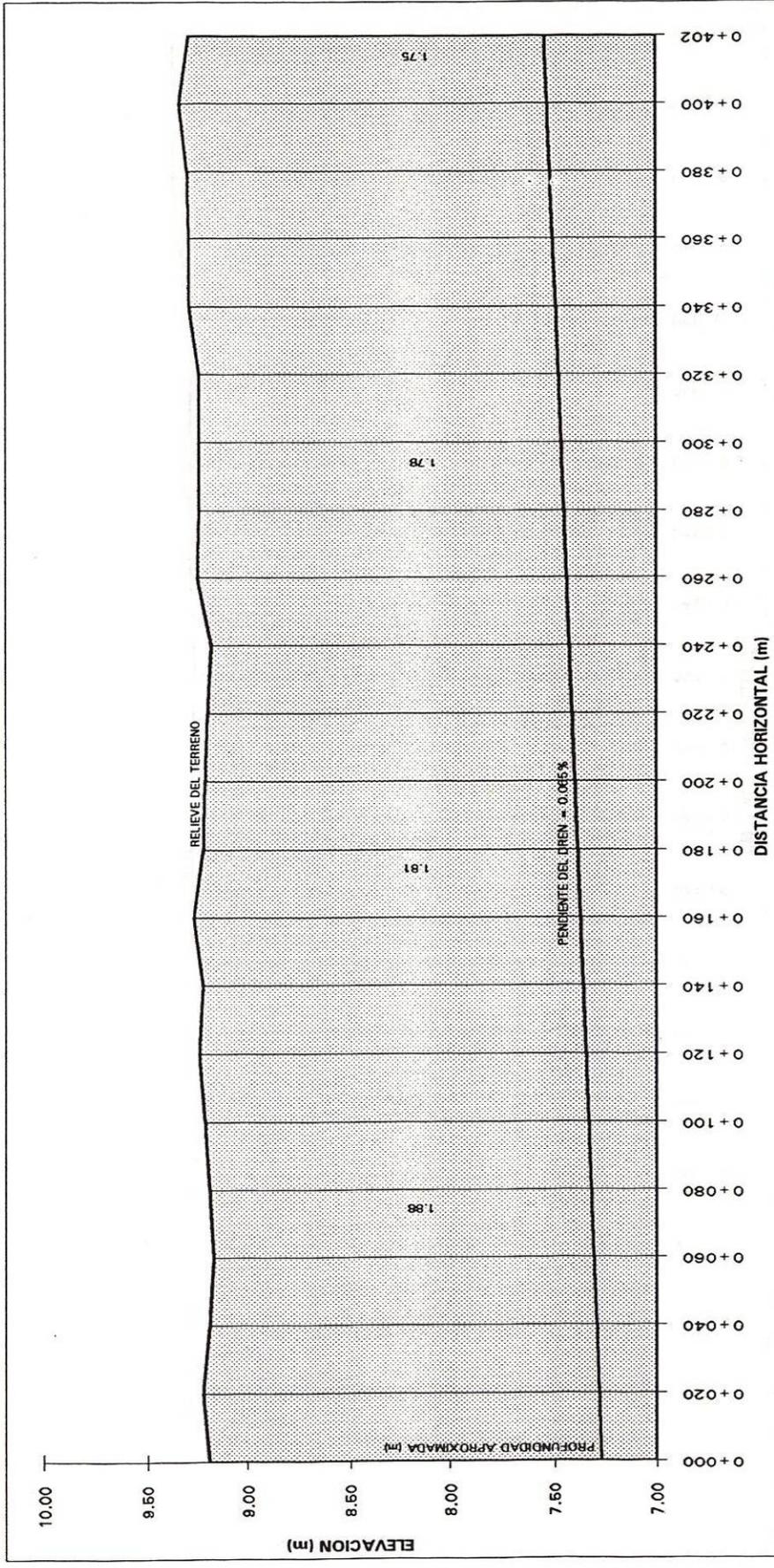


Figura 35 A. Perfil del dren #4 de 4" de diámetro cuerpo derecho del tenedor #3

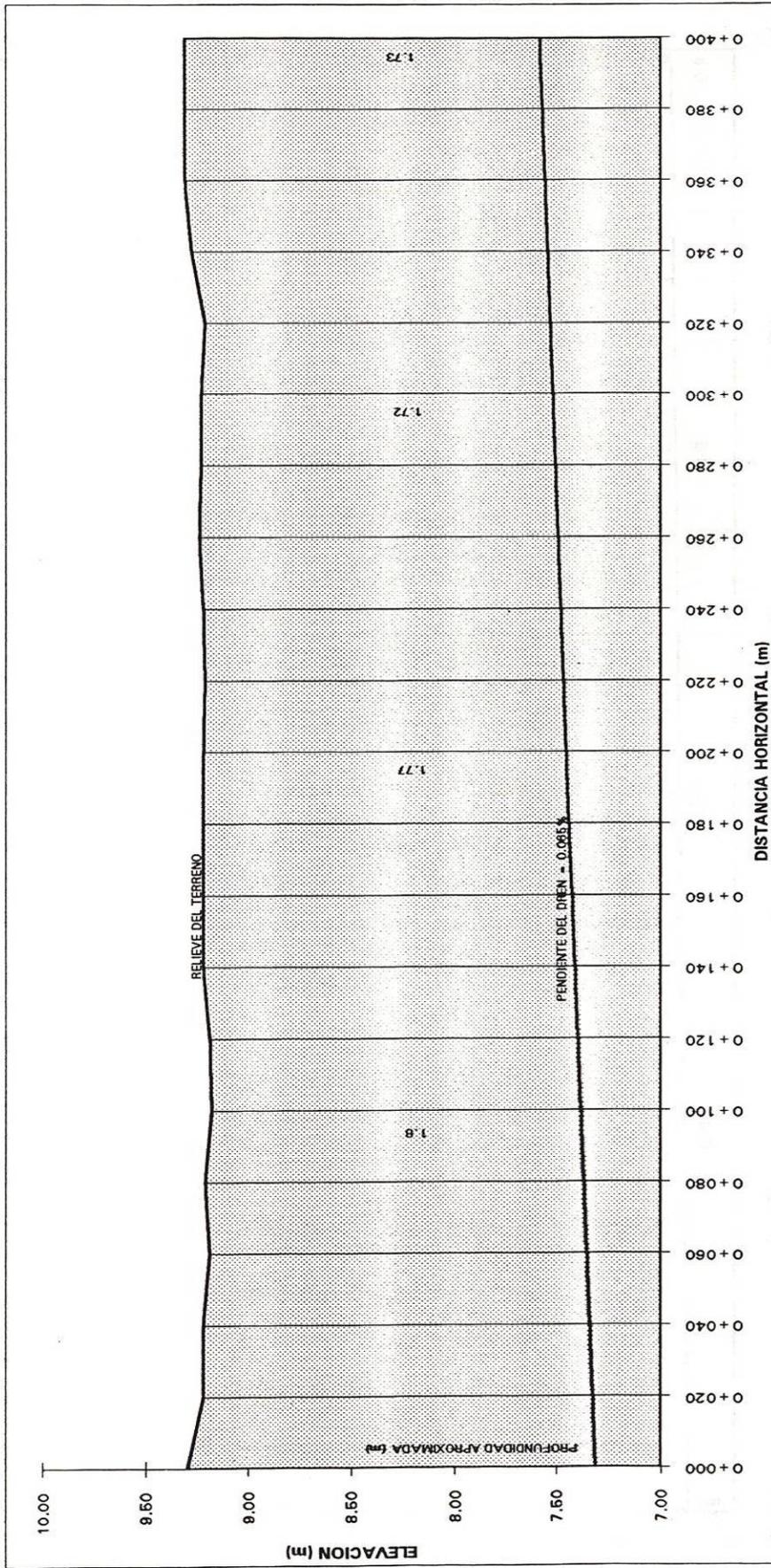


Figura 36 A. Perfil del dren #5 de 4" de diámetro cuerpo central del tenedor #3

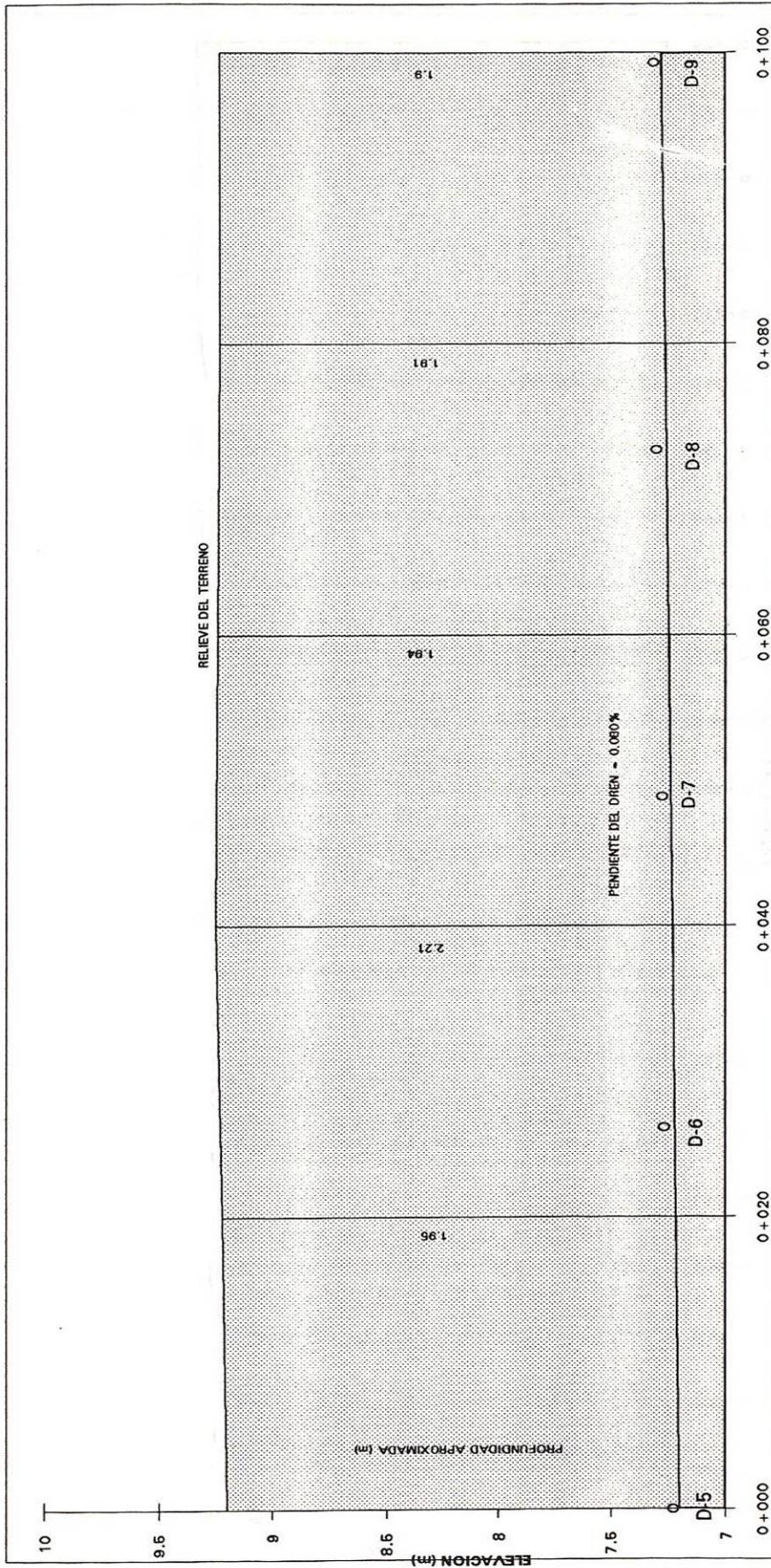


Figura 37 A. Perfil del dren de 6" de diámetro cuerpo izquierdo del tenedor #3

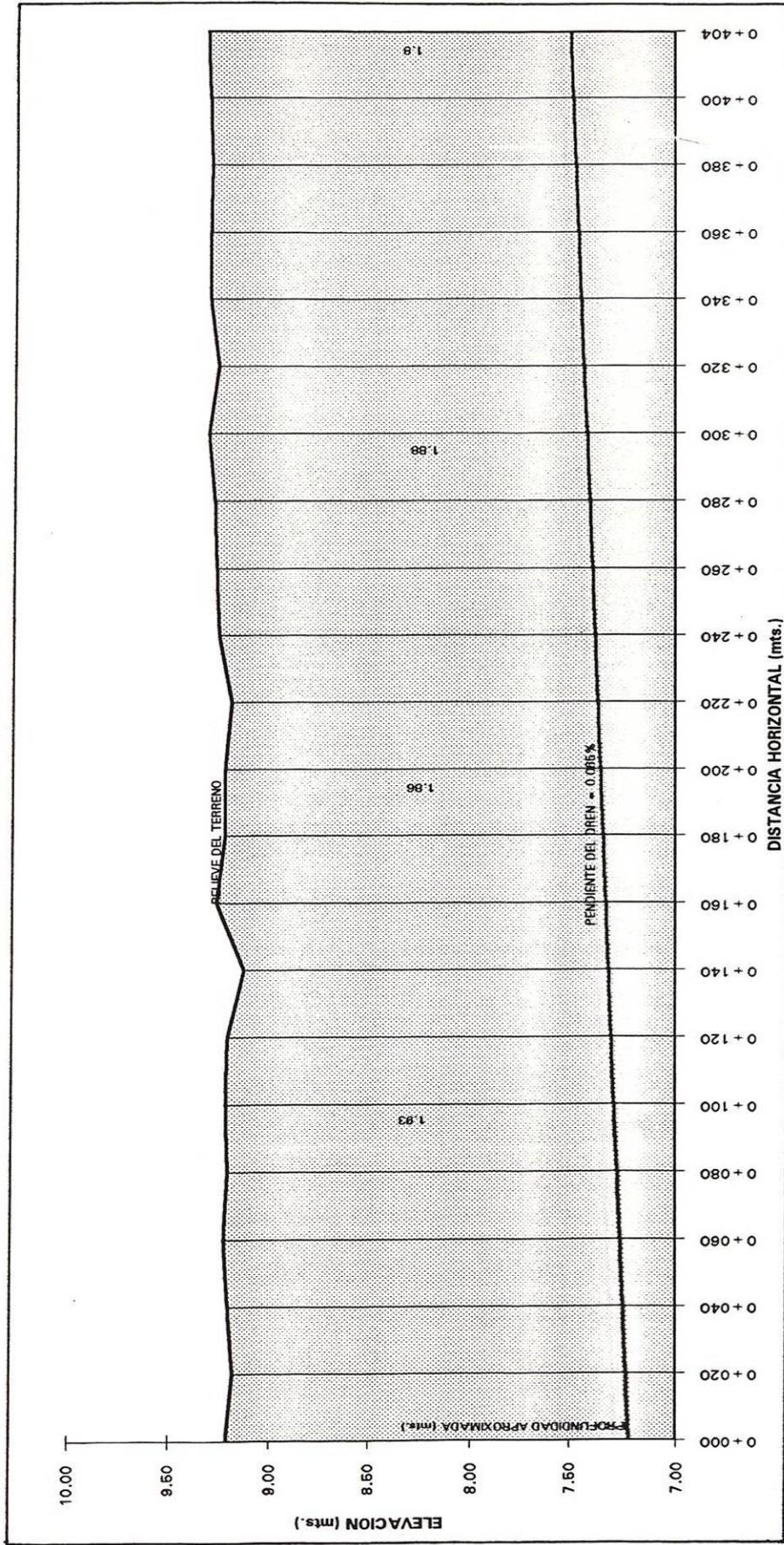


Figura 38 A. Perfil del dren #6 de 4" de diámetro cuerpo izquierdo del tenedor #3.

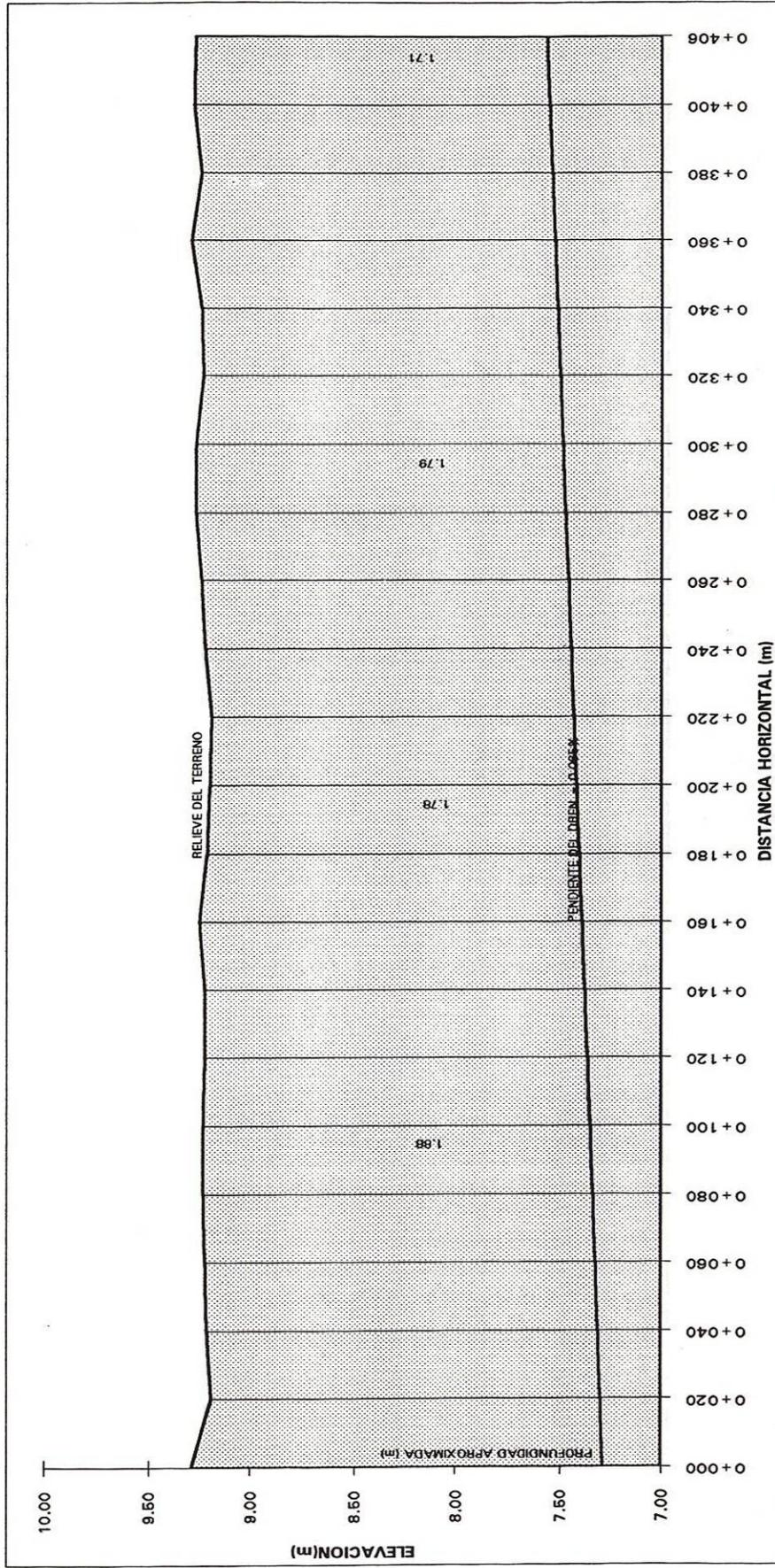


Figura 39 A. Perfil del dren #7 de 4" de diámetro cuerpo izquierdo del tenedor #3

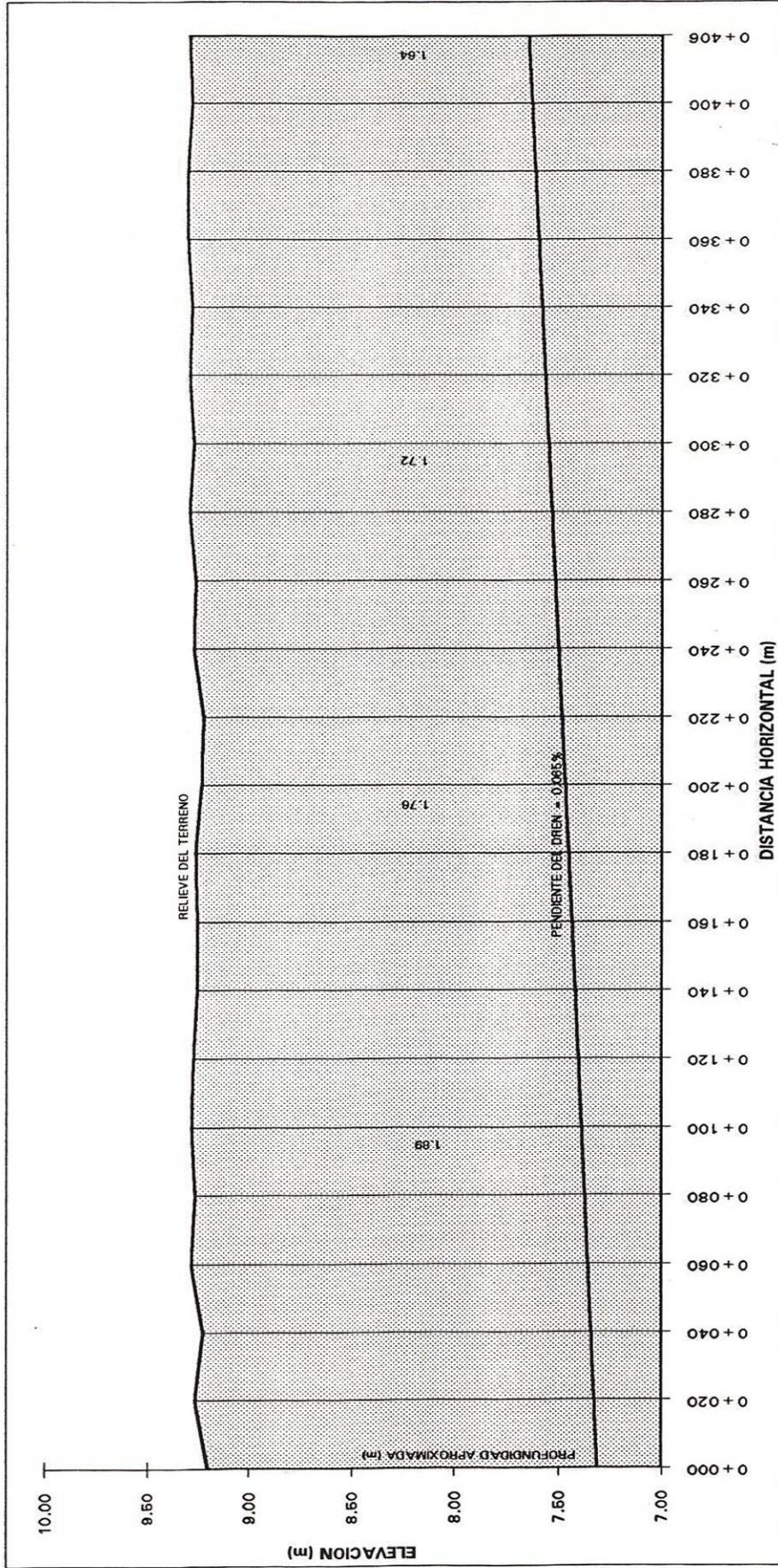


Figura 40 A. Perfil del dren #8 de 4" de diámetro cuerpo izquierdo del tenedor #3

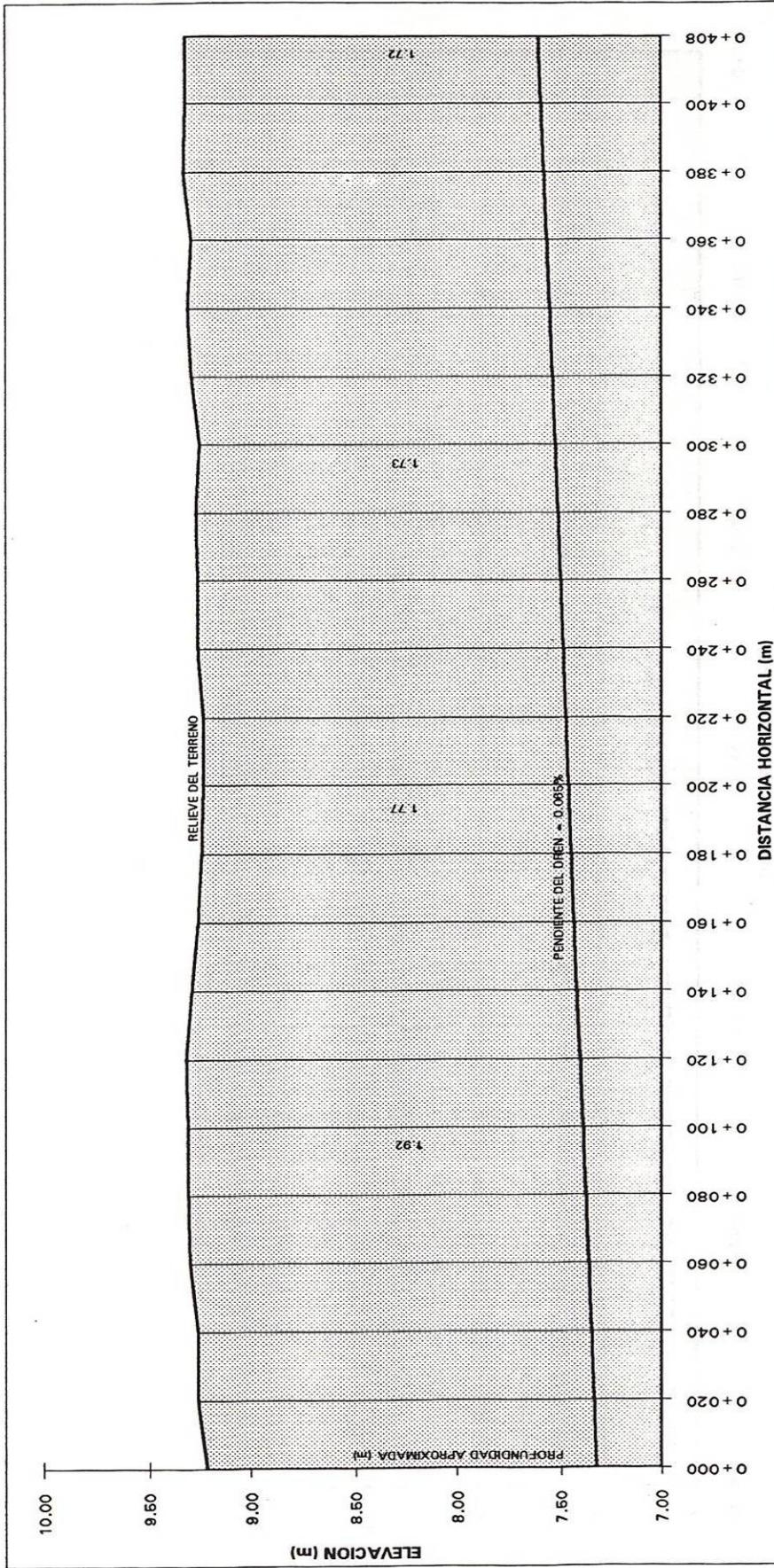


Figura 41 A. Perfil del dren #9 de 4" de diámetro cuerpo izquierdo del tenedor #3

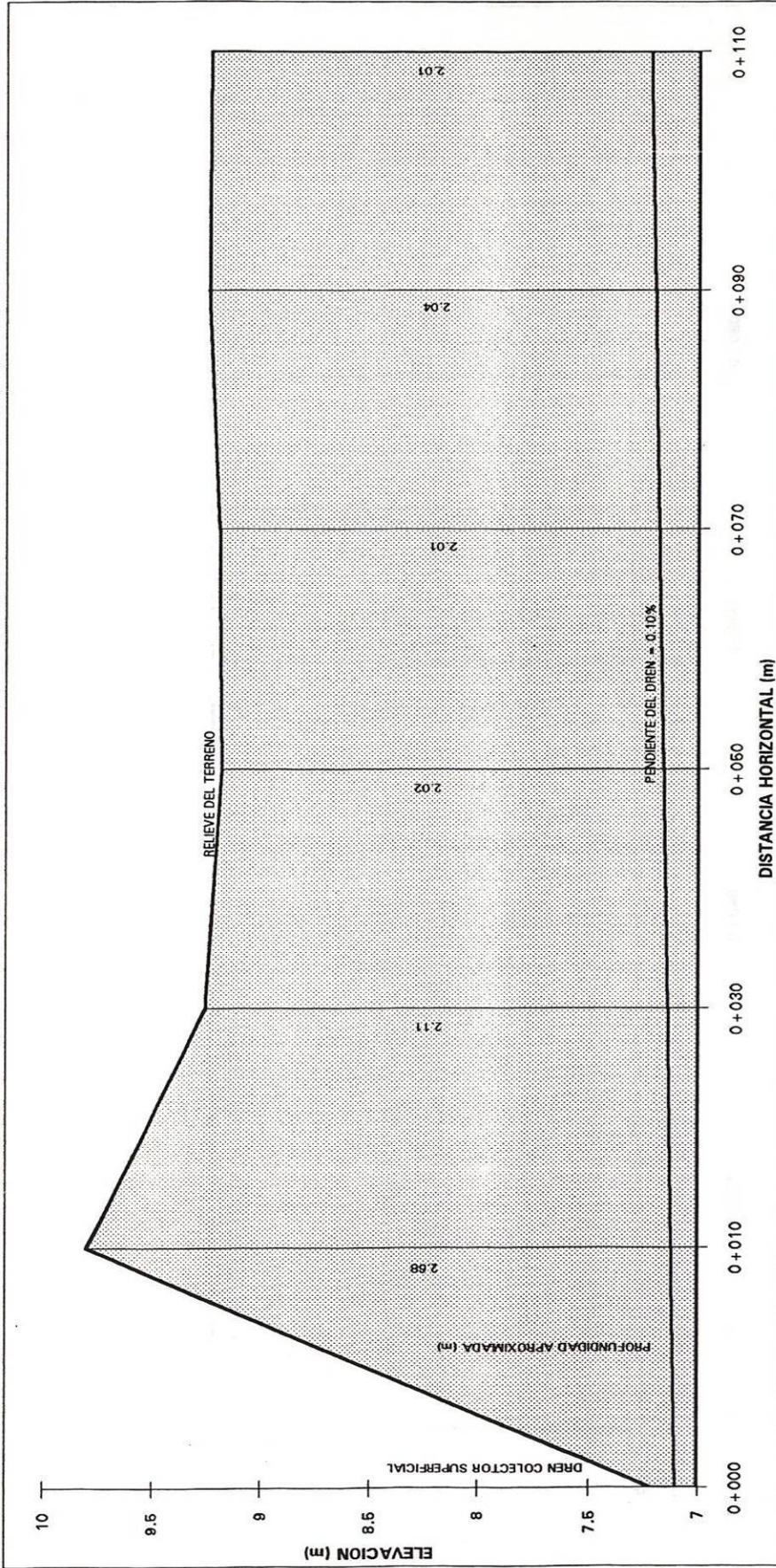


Figura 42 A. Perfil del dren de 8" de diámetro del tenedor #4

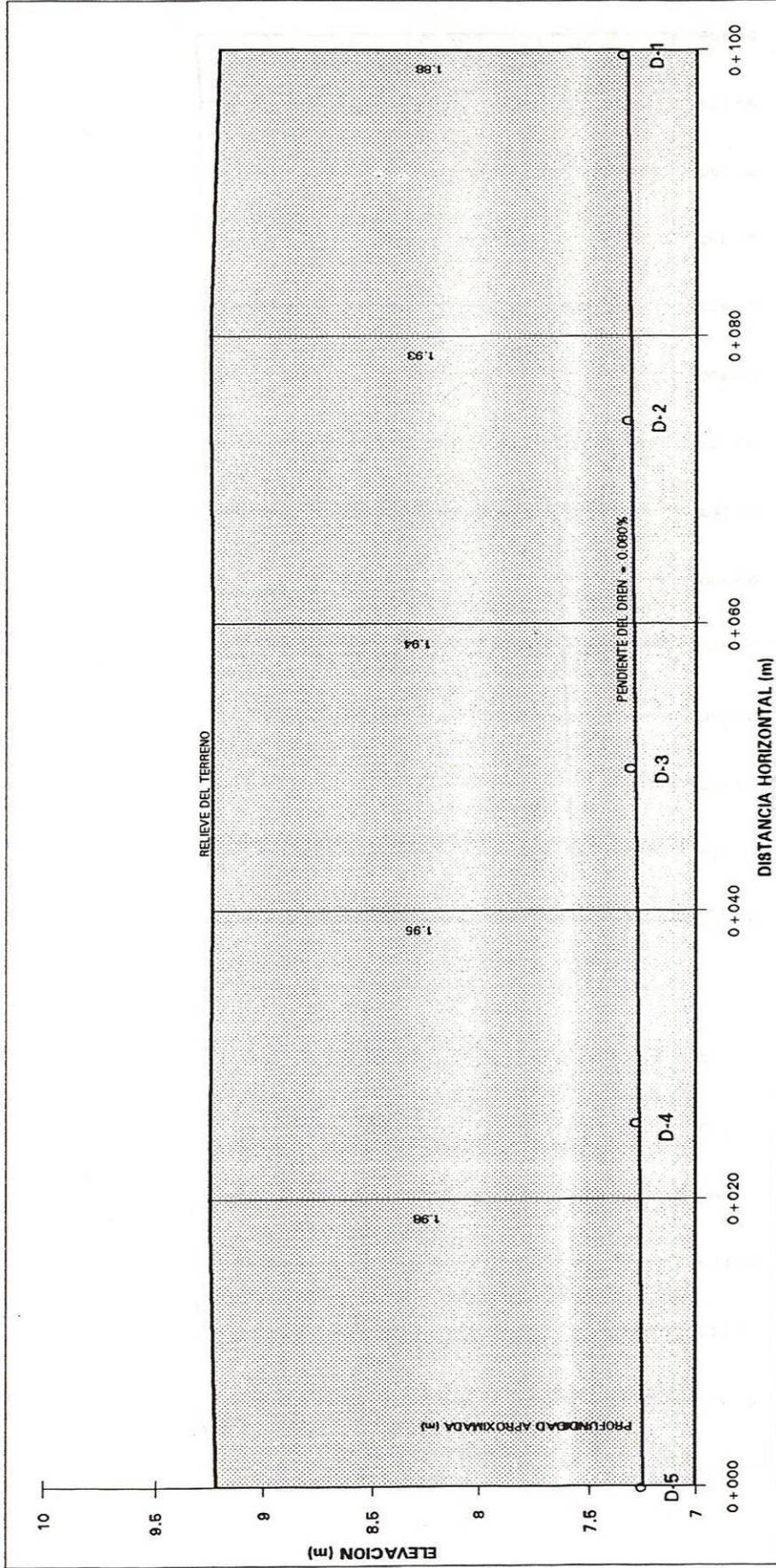


Figura 43 A. Perfil del dren de 6" de diámetro cuerpo derecho del tenedor #4

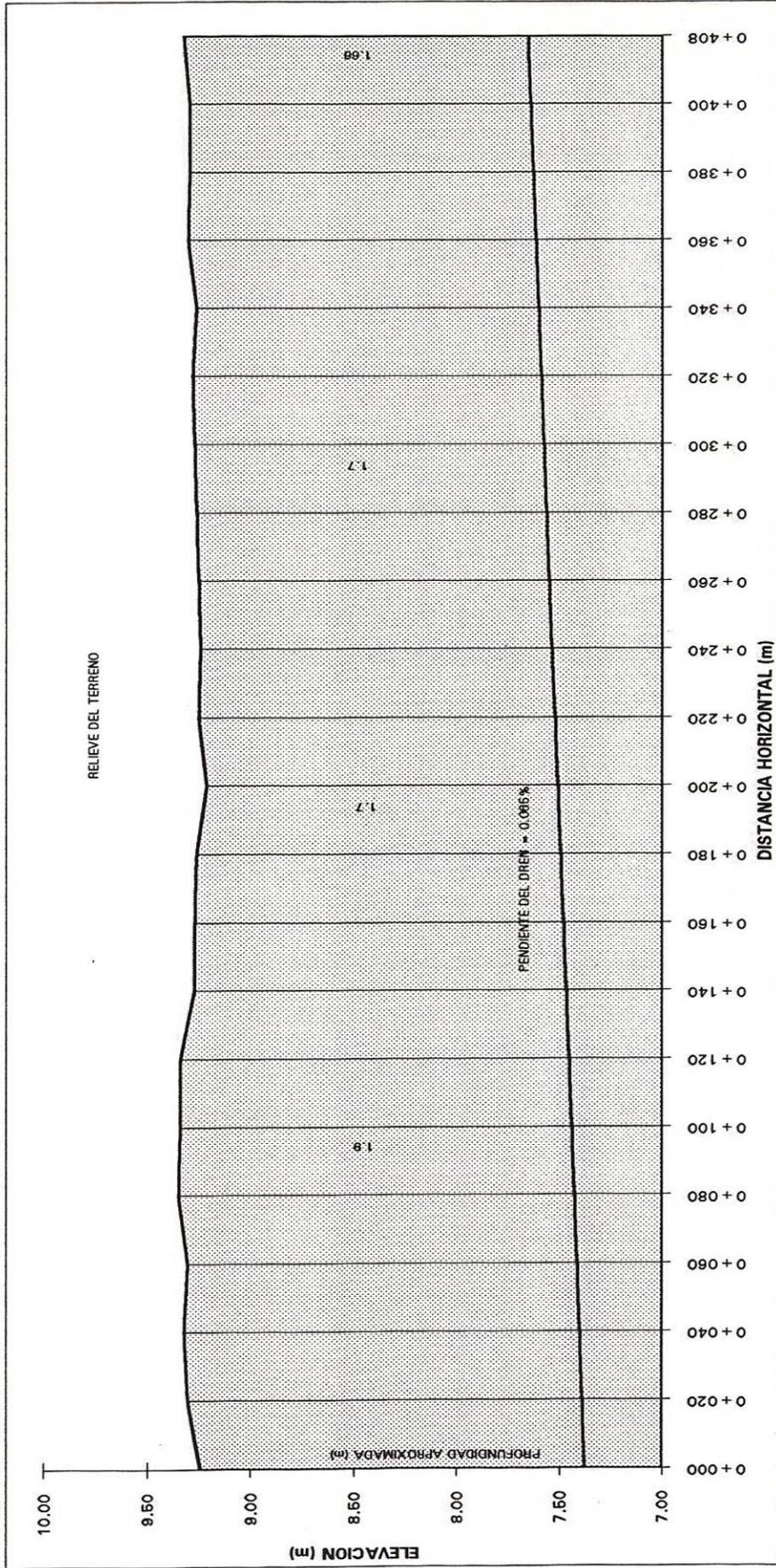


Figura 44 A. Perfil del dren #1 de 4" de diámetro cuerpo derecho del tenedor #4

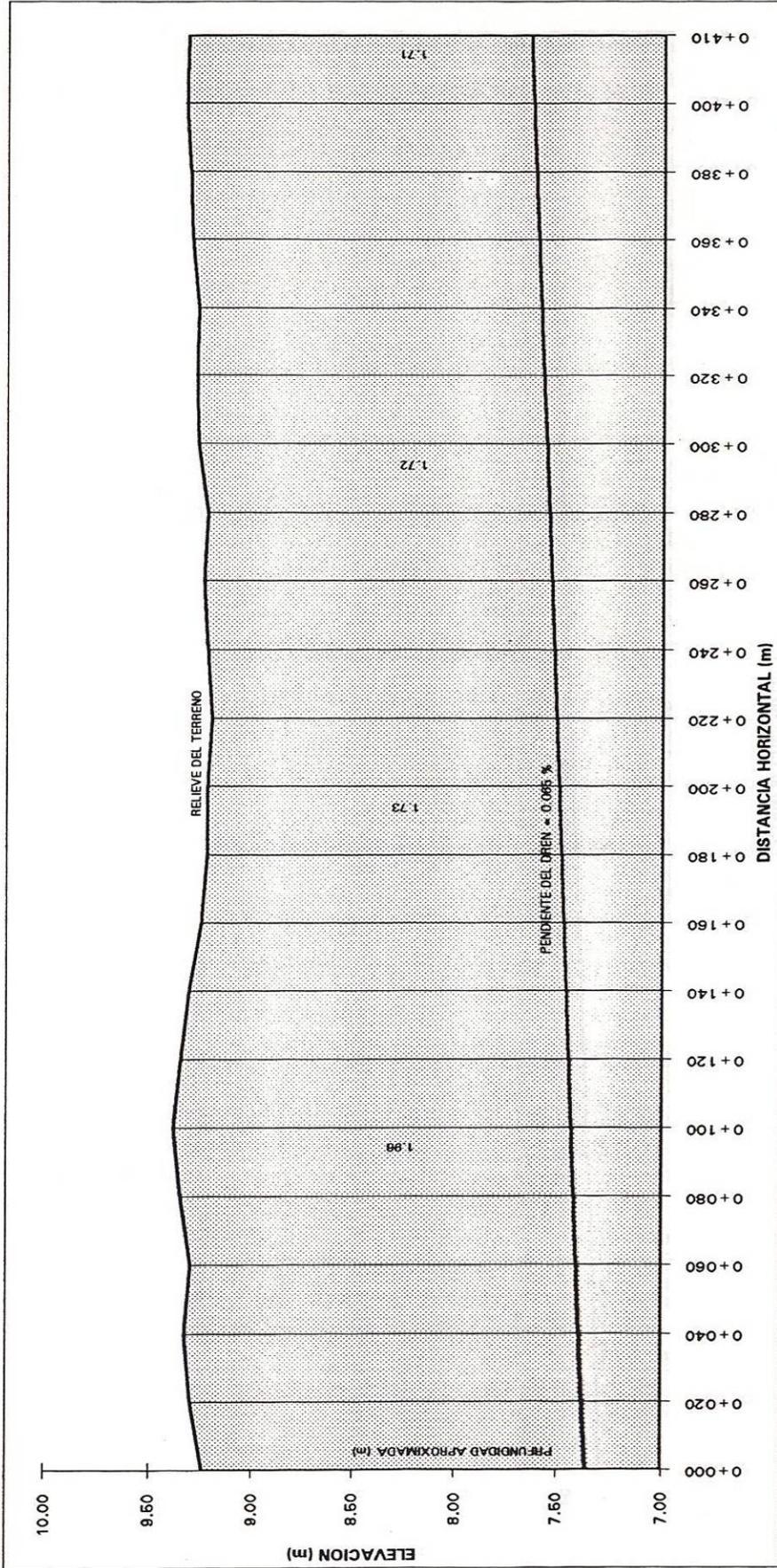


Figura 45 A. Perfil del dren #2 de 4" de diámetro cuerpo derecho del tenedor #4.

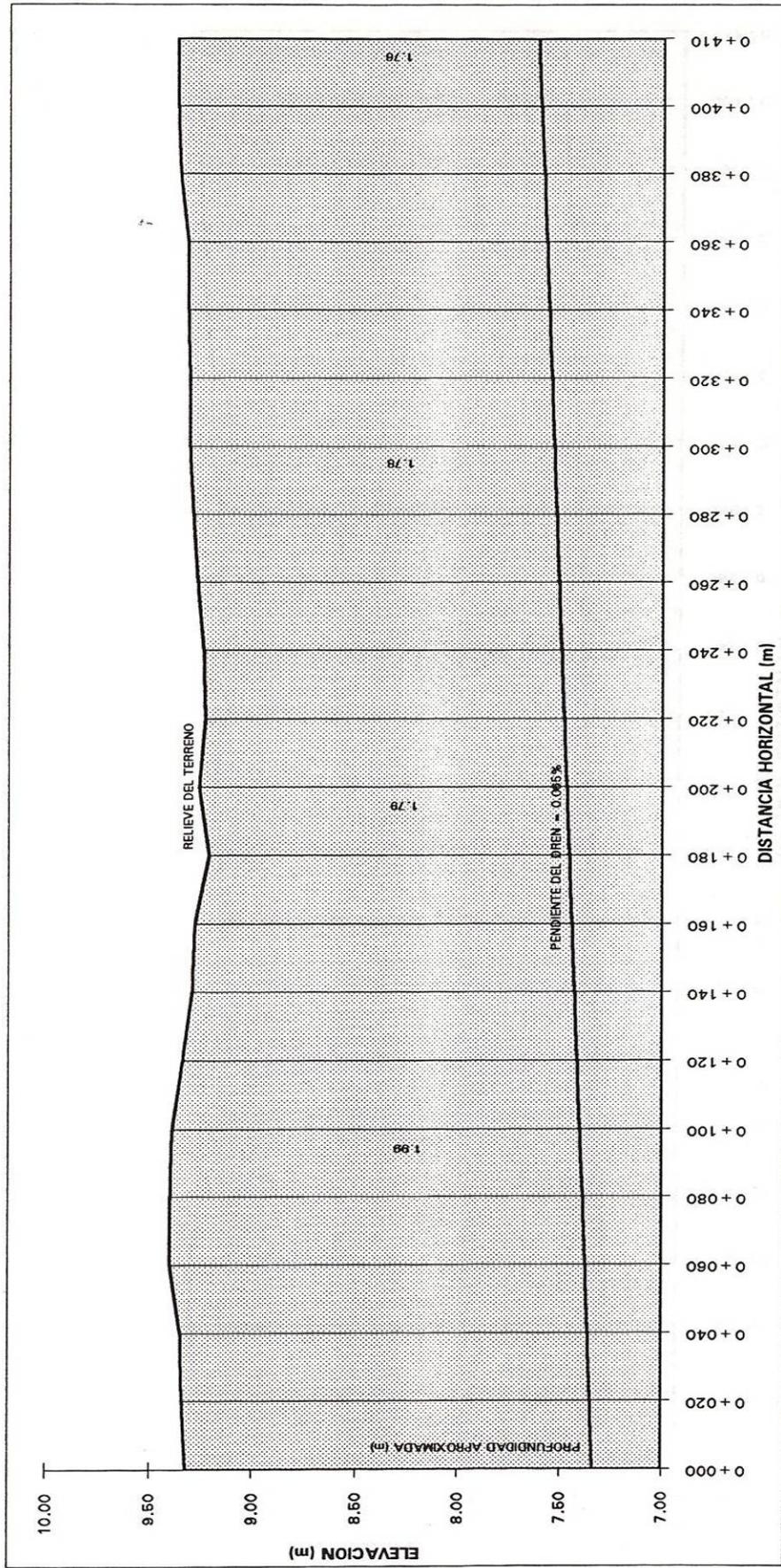


Figura 46 A. Perfil del dren #3 de 4" de diámetro cuerpo derecho del tenedor #4

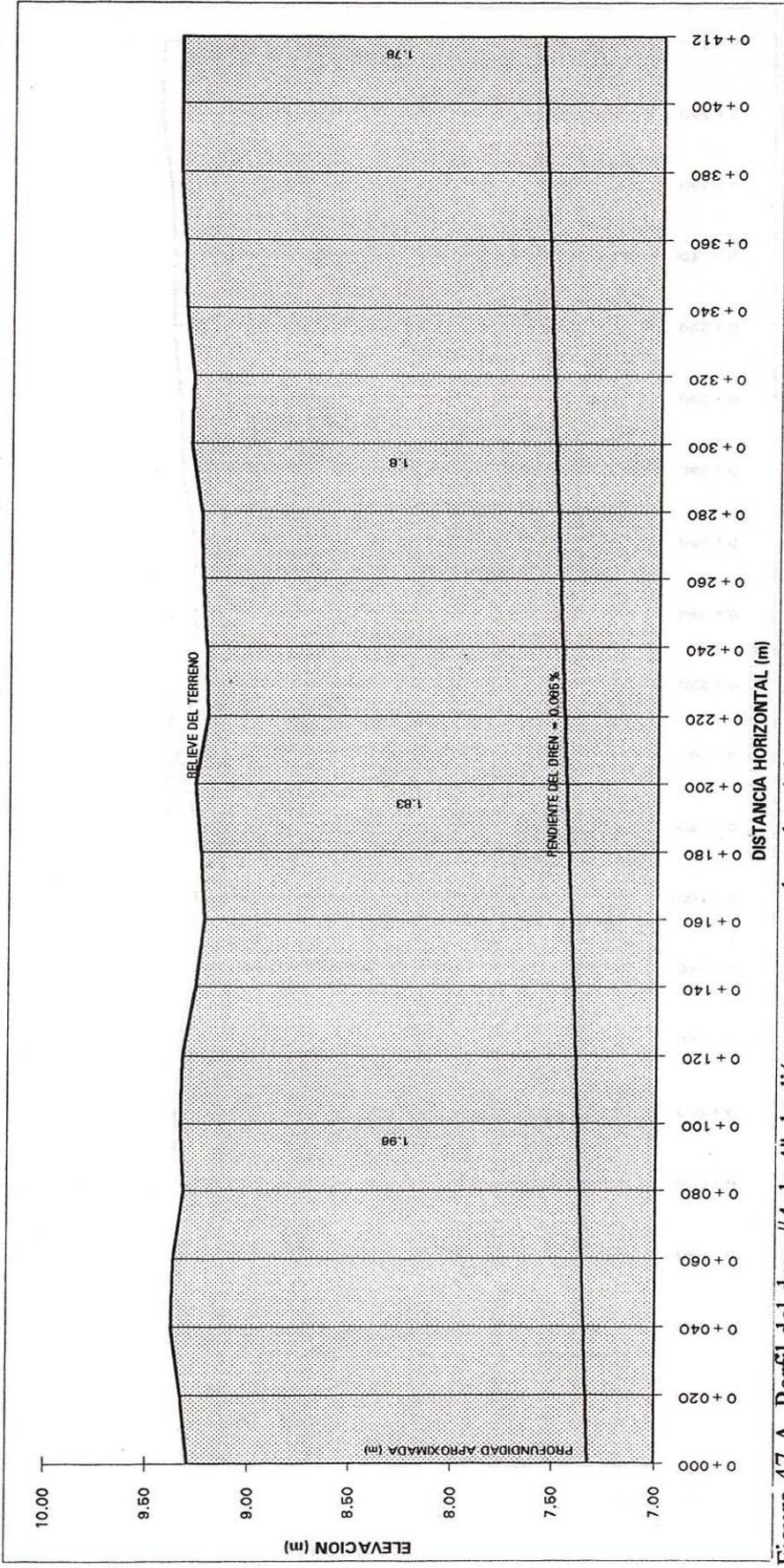


Figura 47 A. Perfil del dren #4 de 4" de diámetro cuerpo derecho del tenedor #4

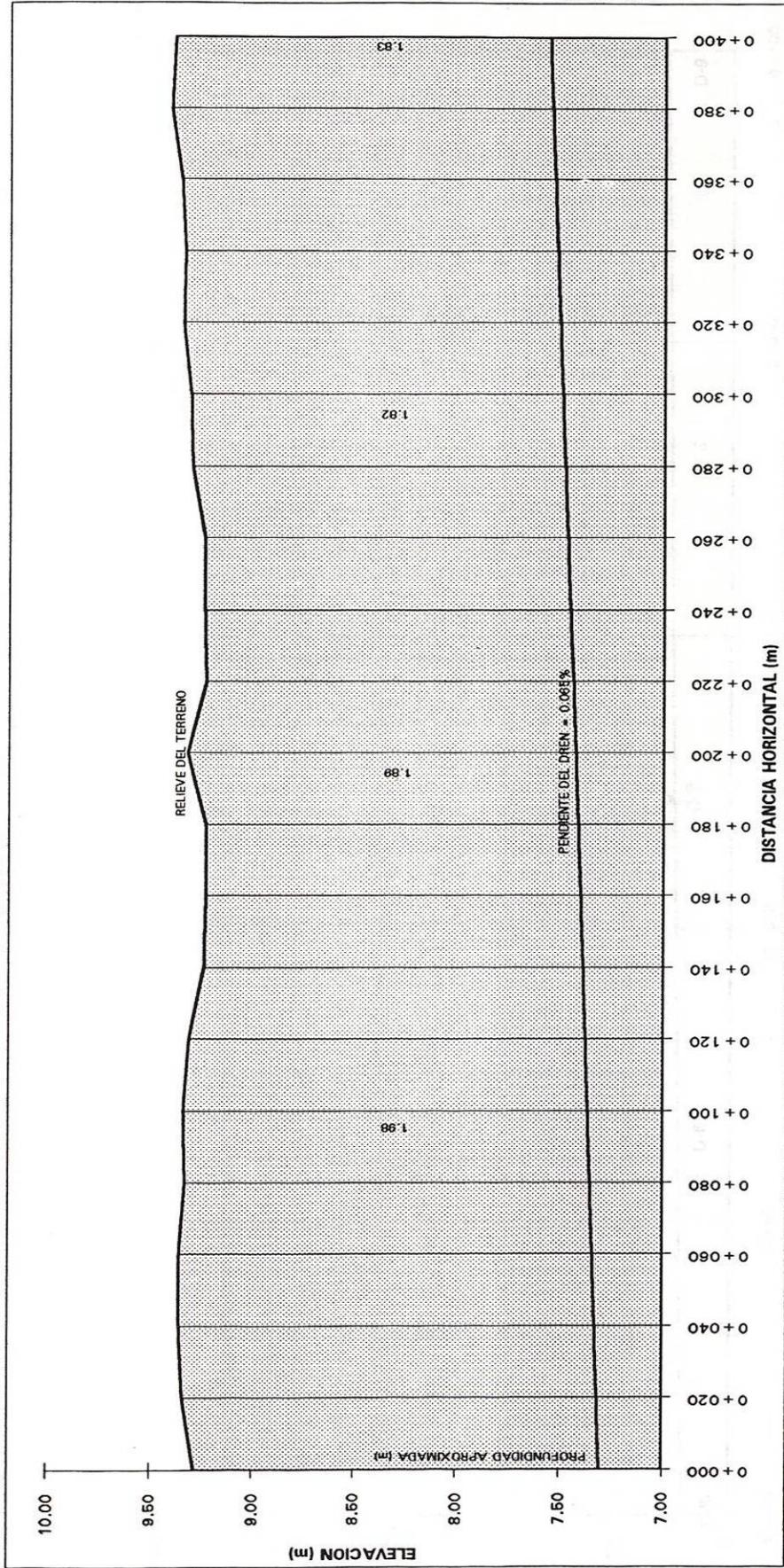


Figura 48 A. Perfil del dren #5 de 4" de diámetro cuerpo central del tenedor #4

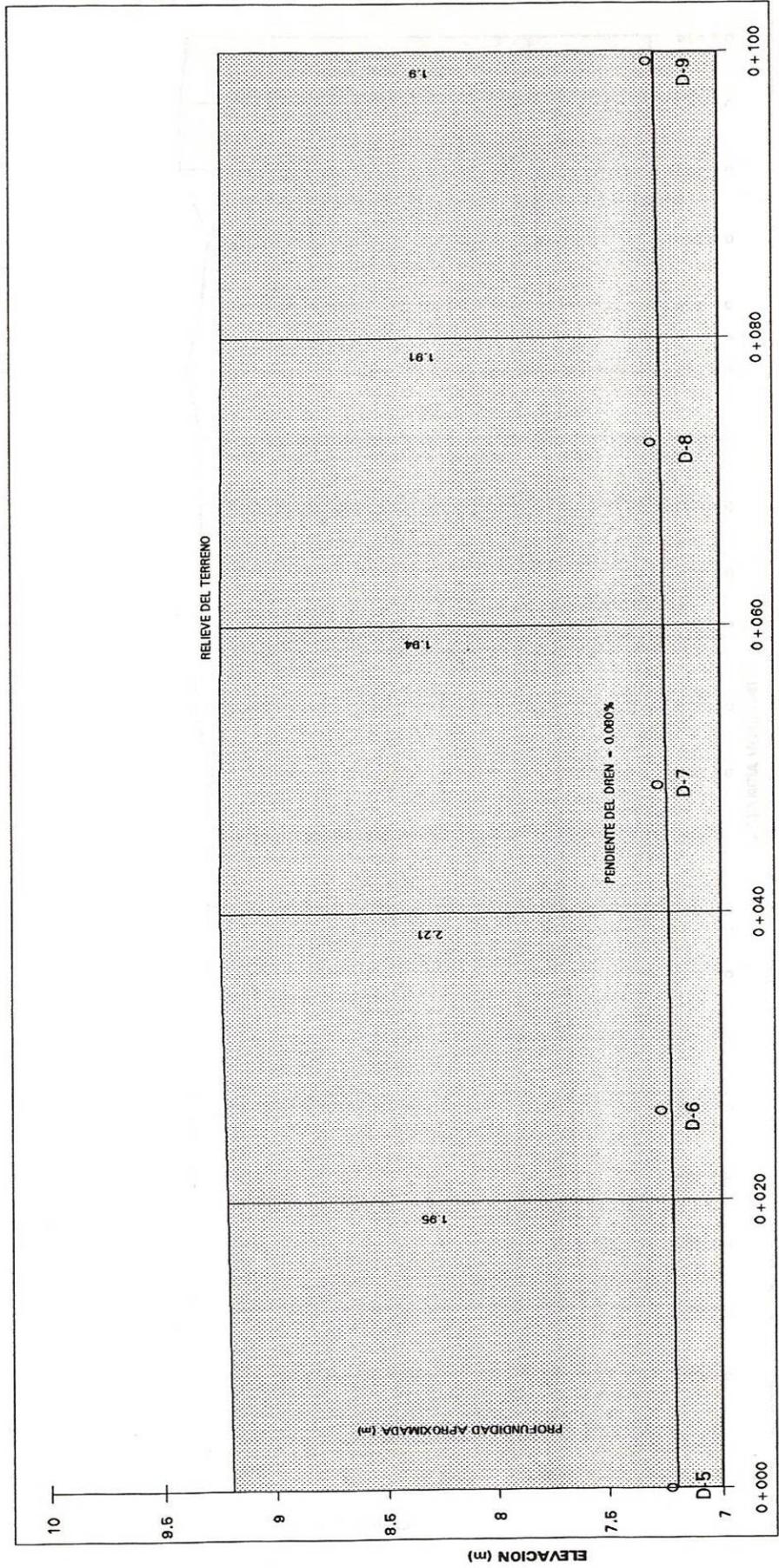


Figura 49 A. Perfil del dren de 6" de diámetro cuerpo izquierdo del tenedor #4

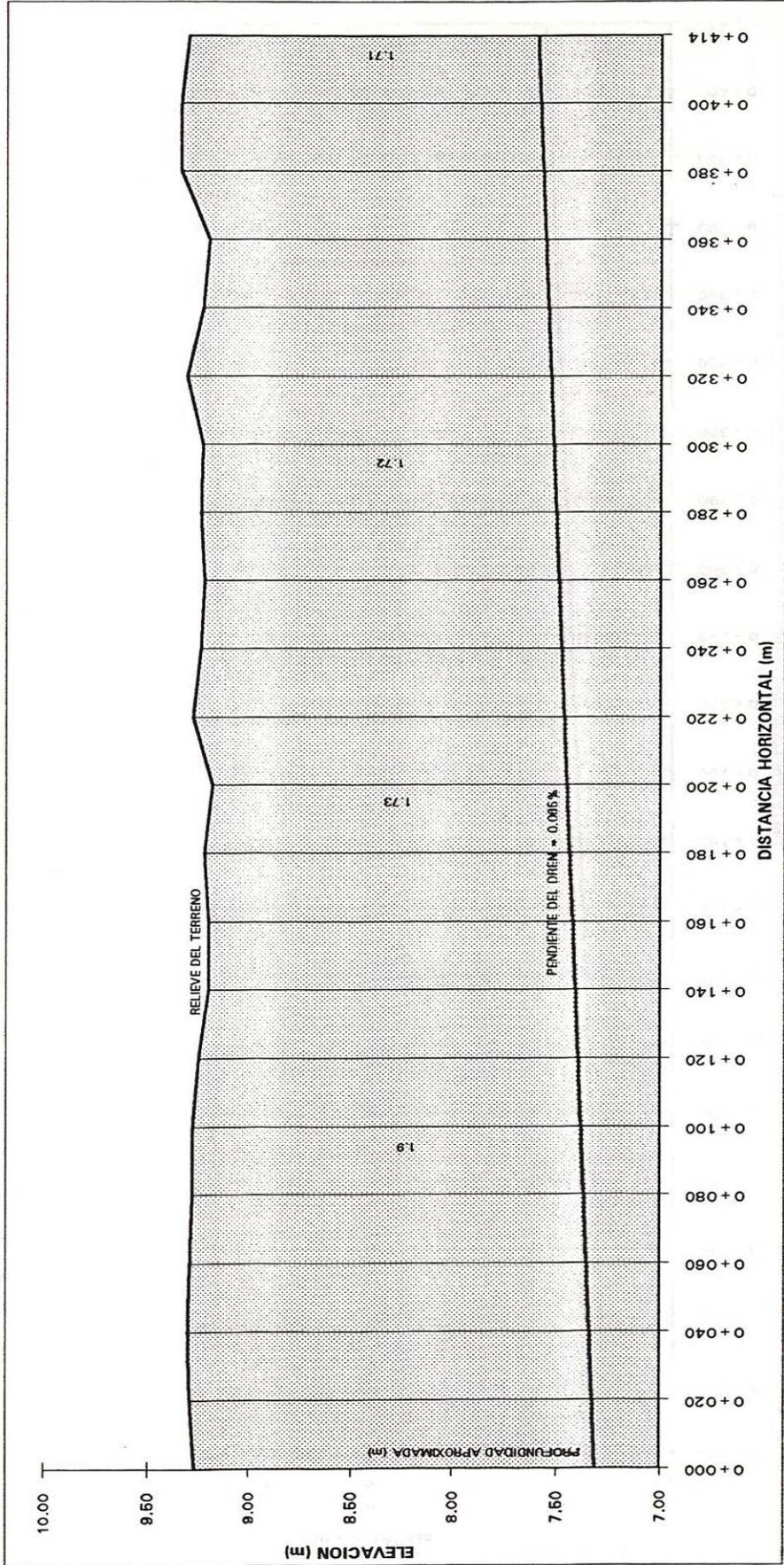


Figura 50 A. Perfil del dren #6 de 4" de diámetro cuerpo izquierdo del tenedor #4

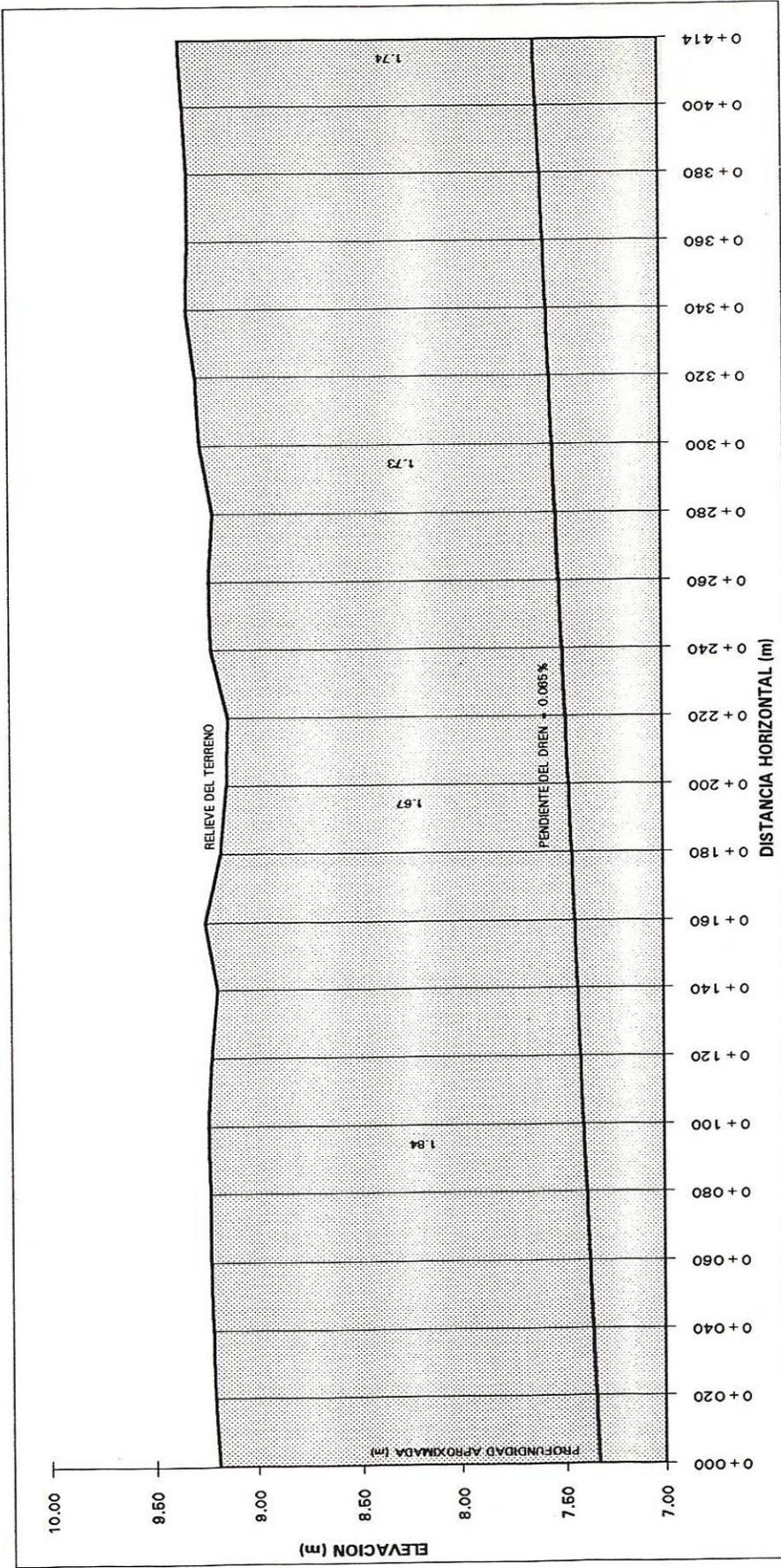


Figura 51 A. Perfil del dren #7 de 4" de diámetro cuerpo izquierdo del tenedor #4

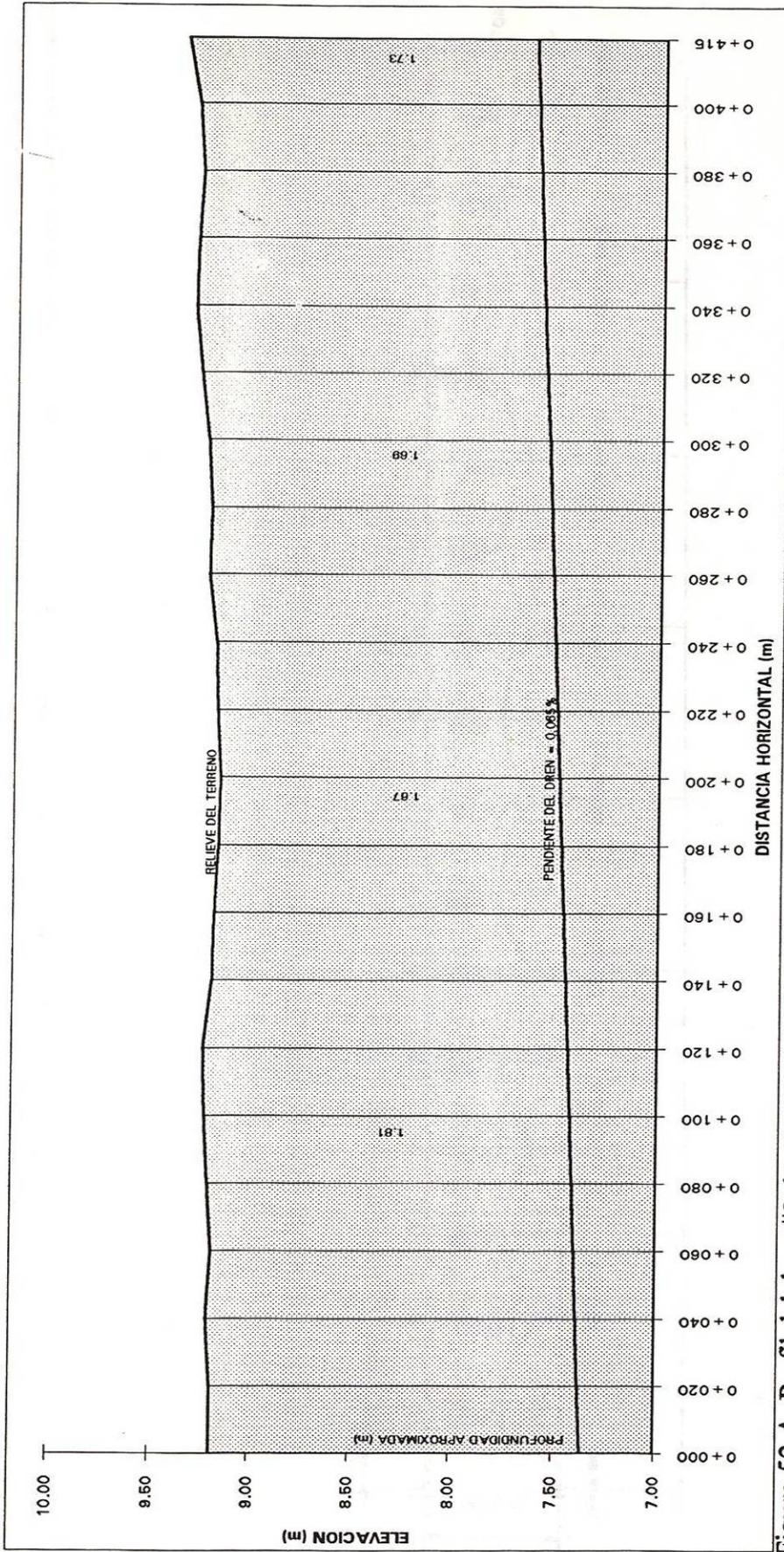


Figura 52 A. Perfil del dren #8 de 4" de diámetro cuerpo izquierdo del tenedor #4

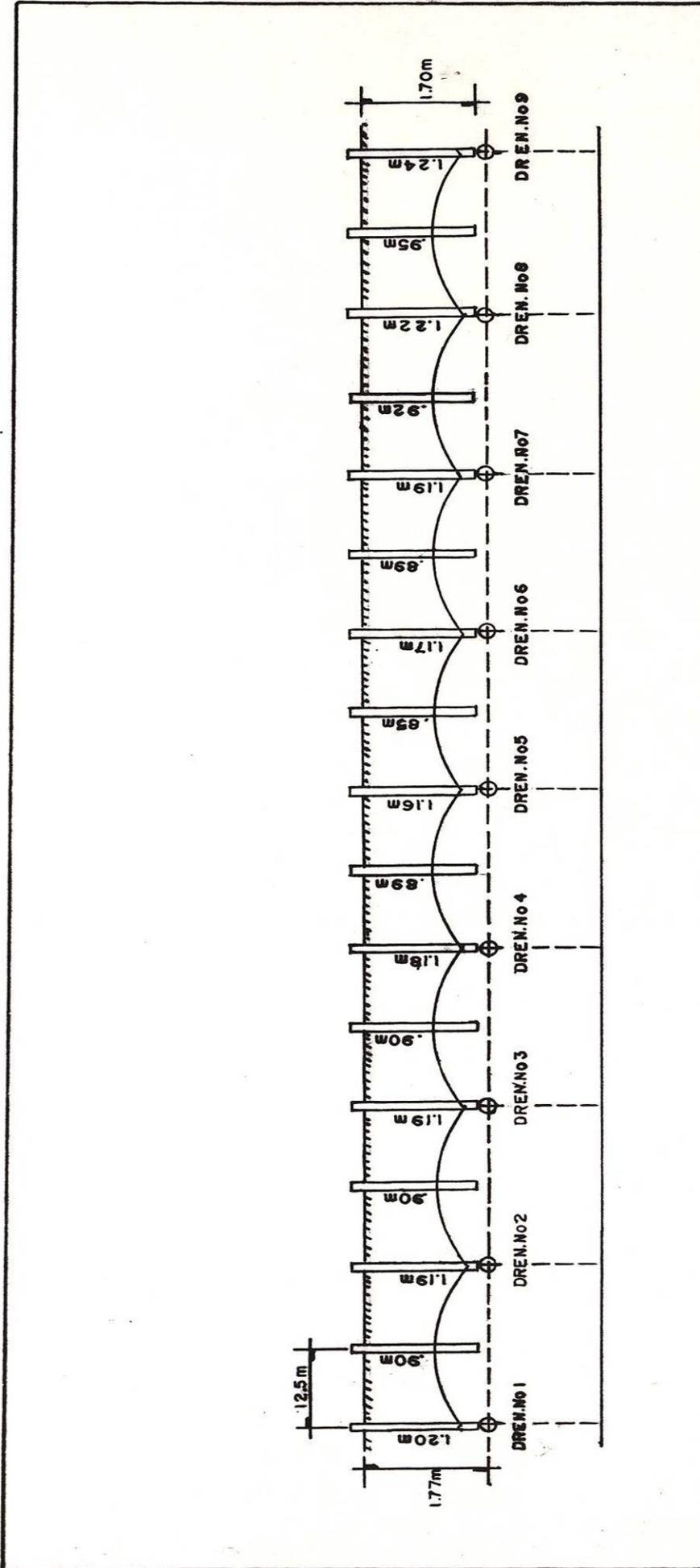


Figura 53 A Perfil transversal del tenedor #2, tomado el 28 de mayo de 1994 tres dias despues de un riego

