

**Instrucción de carreteras  
5.1-IC  
DRENAJE**



# instrucción de carreteras drenaje

Norma  
**5.1-IC**

**MOP** Dirección General de Carreteras y Caminos Vecinales

## 1. Objeto

El objeto de la presente Instrucción es facilitar los datos y recomendaciones necesarios para proyectar adecuadamente los elementos de drenaje de una carretera.

## 2. Definiciones

A los efectos de esta Instrucción, se establecen las siguientes definiciones:

- **Drenaje.** Acción y efecto de avenar una obra o terreno.
- **Cuenca.** Territorio cuyas aguas afluyen todas a un mismo lugar.
- **Caudal.** Cantidad de agua que pasa por unidad de tiempo por una sección normal determinada de una corriente líquida.
- **Periodo de Retorno de una Avenida o Precipitación.** Intervalo de N años en el que se espera que se presente una sola vez la avenida o precipitación que se considera.
- **Tiempo de Concentración.** Tiempo necesario para que el agua de lluvia caida en el punto más alejado de la sección de desagüe de una cuenca llegue a dicha sección.
- **Coefficiente de Escorrentía.** La parte de lluvia precipitada que no se evapora ni se filtra por el terreno, sino que corre por la superficie.
- **Obra de Desagüe.** Se denomina así la obra que permite el paso de una corriente de agua por debajo de un camino. Las obras de desagüe se clasifican en:
  - **Caños.** Tubos de sección circular contruídos para desaguar pequeños caudales de agua.
  - **Tajeas.** Las que, no siendo caños, tienen luces que no exceden de un metro (1 m).
  - **Alcantarillas.** Las de luces superiores a un metro (1 m) y que no exceden de tres metros (3 m).
  - **Pontones.** Las de luces superiores a tres metros (3 m) y que no exceden de diez metros (10 m).
  - **Puentes.** Las de luces superiores a diez metros (10 m).
  - **Alcantarilla (2ª acepción).** Conducto subterráneo para recoger las aguas llovedizas o inundadas.
- **Alcantarillado.** Conjunto de alcantarillas (2ª acepción).
- **Cuneta.** Zanja abierta en el terreno con el fin de recibir y canalizar aguas de lluvia.
- **Caz.** Faja estrecha longitudinal, generalmente situada al borde de la calzada, acondicionada especialmente para recoger y conducir aguas superficiales.
- **Sumidero.** Conducto o canal por donde se sumen y evacuan las aguas.
- **Arqueta.** Cavidad revestida de ladrillo, hormigón u otro material, que se intercala en puntos apropiados de una conducción de agua para decantación, registro, limpieza u otros fines.
- **Registro.** Abertura con su tapa cubierta para revisar, conservar, o reparar lo que está subterráneo o empotrado en un muro, pavimento, etc.
- **Dren.** Cada una de las zanjas o tuberías con que se efectúa el avenamiento de una obra o terreno.
- **Dren Subterráneo.** Zanja abierta en el terreno en el que se coloca un tubo con juntas abiertas, perforaciones, o de material poroso y se rodea de material filtro.
- **Dren de Grava.** El constituido por una zanja rellena de grava.
- **Dren ciego.** Dren de grava que no vierte directamente al exterior.
- **Dren Francés.** El formado por una zanja que se rellena en su mitad inferior de piedras o cascotes.
- **Dren Vertical de Arena.** Perforación vertical a través de un terreno que se llena de un material permeable para facilitar la evacuación del agua.
- **Material Filtro.** Arido natural o artificial que debe cumplir determinadas condiciones de calidad y granulometría y que se emplea en el relleno de zanjas de drenaje.
- **Capa.** Parte de la explanada o del firme constituida con materiales homogéneos dispues-

Instrucción de carreteras  
5.1-IC  
Aprobado: 21/Junio/1965

Revisiones:

## 5.1 - IC.

tos, generalmente, con espesor uniforme.

- **Capa Anticapilar.** Capa que se coloca sobre la explanada para impedir la ascensión capilar.
- **Capa Anticontaminante.** Capa que se coloca sobre la explanada cuando, por su naturaleza, es de temer la contaminación del firme.
- **Capa Antihielo.** Capa que se coloca sobre la explanada para preservar el firme contra los efectos del hielo.

## 3. Factores a considerar

Al proyectar los elementos de drenaje de una carretera, deben tenerse en cuenta los siguientes factores.

## 3.1. Factores Topográficos.

- Situación de la carretera respecto al terreno natural: en desmonte, en terraplén, o a media ladera.

## 3.2. Factores Hidrológicos.

- Presencia de aguas subterráneas: variaciones de su nivel y de su caudal.
- Aportación y desagüe de aguas superficiales.

## 3.3. Factores Geotécnicos.

- Naturaleza y condiciones de los suelos: homogeneidad, estratificación, permeabilidad, compresibilidad, etc.
- Posibilidad de corrimientos o de erosión del terreno.

## 4. Hidrología

## 4.1. Condiciones Generales.

El sistema de drenaje se proyectará de modo que sea capaz de desaguar el caudal máximo correspondiente a un determinado período de retorno, de acuerdo con la tabla 4.1.

## 4.2. Cálculo de los Caudales para Obras de Drenaje.

El cálculo de caudales a desaguar se realizará partiendo de los datos de aforos existentes, complementados con la observación de las obras de

desagüe en servicio próximas a la que se estudia. Cuando no existan datos para proceder según lo indicado en el párrafo anterior, pero sí cauces naturales bien definidos, se efectuará la determinación del caudal máximo previsible mediante el análisis de estos últimos.

Si no existieran tales cauces, se recurrirá a los métodos de correlación entre las precipitaciones y las escorrentías, aplicando, preferentemente, el método racional, la fórmula de Bürkli - Ziegler y, en su defecto, la de Talbot.

## 4.2.1. Utilización de Aforos Existentes.

Se recabarán tales datos de los Servicios Hidráulicos del Ministerio de Obras Públicas.

## 4.2.2. Observación de las Obras de Desagüe en Servicio.

La observación de las obras próximas al punto de ubicación de la que se estudia permitirá conocer el nivel medio más frecuente, así como las máximas avenidas que han soportado y los daños producidos por las mismas.

Se deberán considerar las circunstancias existentes en estas estructuras, tales como las condiciones de entrada y salida del agua, si actúa o no en carga, etc. para obtener, con la máxima aproximación posible, los caudales de descarga.

## 4.2.3. Análisis de Caudales Naturales bien definidos.

El cálculo de caudales se obtendrá mediante la aplicación de la fórmula de Manning para movimiento del agua en cauces abiertos.

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

en la que

Q es el caudal, en  $\frac{m^3}{s}$

n es el coeficiente de rugosidad del cauce

S es el área de la sección de la corriente, en  $m^2$

$R = \frac{S}{P}$  es el radio hidráulico, en m.

P es el perímetro mojado correspondiente al tramo elegido para el máximo nivel de agua, en m.

J es la pendiente de la línea de carga

TABLA 4.1.

Tipo de estructura	Carretera	Período de retorno años
Puentes en puntos en los que la retención de la riada puede provocar daños en el puente o su pérdida .....	Todas	50 - 100
Puentes en otras circunstancias .....	{ Principal Secundaria	50 - 100 25
Caños, tajeas, alcantarillas y pontones .....	{ Principal Secundaria	25 10
Cunetas y drenaje longitudinal .....	{ Principal Secundaria	10 5
Vías urbanas, excepto caces y sumideros .....	Todas	10
Caces y sumideros (1) .....	Todas	2 - 5

(1) Se puede tolerar la formación de remansos de corta duración.

## 5.1 - IC.

La determinación de los elementos de la fórmula se realizará de la manera siguiente:

Se elegirá un tramo del cauce de una longitud mínima de unos 60 metros que cumpla, en lo posible, las siguientes condiciones: uniformidad, alineación recta, proximidad al lugar de ubicación de la obra y marcas o señales claras de los niveles máximos alcanzados por las riadas. Del perfil de los máximos niveles alcanzados por el agua, se deducirá un valor aproximado de la pendiente  $J$  de la línea de carga, dividiendo la pérdida de altura del principio al final del tramo por la longitud del mismo.

El coeficiente de rugosidad "n" se obtendrá, de acuerdo con las características del cauce, utilizando la tabla 4.2.3.

El valor obtenido de  $Q$  es una primera aproximación del verdadero caudal, ya que aparte de las limitaciones de validez que supone la aplicación de la fórmula de Manning, se ha supuesto que  $J$  era la pérdida de altura del agua en el tramo dividida por la longitud del mismo, cuando en realidad es la pendiente de la línea de carga.

Este caudal  $Q$  dividido por las áreas medias a la entrada y a la salida del tramo dará valores aproximados de la velocidad en ambas secciones y la pérdida de carga dinámica en el tramo será:

$$\frac{v^2}{2g} = \left[ \frac{(Q/A \text{ (entrada)})^2}{2g} \right] - \left[ \frac{(Q/A' \text{ (salida)})^2}{2g} \right]$$

Restando este valor de la diferencia de niveles del agua a la entrada y salida del tramo, utilizado para el primer tanteo, y dividiendo el resultado de esta resta por la longitud del tramo, se obtendrá un valor corregido de  $J$  y, a partir de él, un nuevo valor de  $Q$  mas aproximado al verdadero que el anterior.

## 4.2.4. Método Racional.

## 4.2.4.1. Fórmula a aplicar.

El caudal de avenidas que deberá desaguar la obra de desagüe en estudio se relacionará con las características de la cuenca o superficie aportadora y las precipitaciones por medio de la fórmula.

$$Q = \frac{C I A}{360}$$

en la que

$Q$  es el caudal máximo previsible en la sección de desagüe en estudio, en  $\frac{m^3}{s}$

$C$  es el coeficiente de escorrentía de la cuenca.

$I$  es la intensidad de lluvia máxima previsible para un periodo de retorno dado, en mm/h.

Corresponde a una precipitación de duración igual al tiempo de concentración.

$A$  es la superficie de la cuenca aportadora, en Ha.

TABLA 4.2.3. COEFICIENTE DE RUGOSIDAD  $n$  A UTILIZAR EN LA FORMULA DE MANNING

	Coeficiente de Manning
<b>Cunetas y Canales sin revestir</b>	
En tierra ordinaria, superficie uniforme y lisa .....	0,020 - 0,025
En tierra ordinaria, superficie irregular .....	0,025 - 0,035
En tierra con ligera vegetación .....	0,035 - 0,045
En tierra con vegetación espesa .....	0,040 - 0,050
En tierra excavada mecánicamente .....	0,028 - 0,033
En roca, superficie uniforme y lisa .....	0,030 - 0,035
En roca, superficie con aristas e irregularidades .....	0,035 - 0,045
<b>Cunetas y Canales revestidos</b>	
Hormigón .....	0,013 - 0,017
Hormigón revestido de gunita .....	0,016 - 0,022
Encachado .....	0,020 - 0,030
Paredes de hormigón, fondo de grava .....	0,017 - 0,020
Paredes encachadas, fondo de grava .....	0,023 - 0,033
Revestimiento bituminoso .....	0,013 - 0,016
<b>Corrientes Naturales</b>	
Limpias, orillas rectas, fondo uniforme, altura de lámina de agua suficiente .....	0,027 - 0,033
Limpias, orillas rectas, fondo uniforme, altura de lámina de agua suficiente, algo de vegetación .....	0,033 - 0,040
Limpias, meandros, embalses y remolinos de poca importancia .....	0,035 - 0,050
Lentas, con embalses profundos y canales ramificados .....	0,060 - 0,080
Lentas, con embalses profundos y canales ramificados, vegetación densa .....	0,100 - 0,200 (1)
Rugosas, corrientes en terreno rocoso de montaña .....	0,050 - 0,080
Áreas de inundación adyacentes al canal ordinario .....	0,030 - 0,200 (1)

(1) Se tomarán los valores más elevados para corrientes profundas que sumerjan parte importante de la vegetación.  
Tabla tomada de S. M. Woodward and C. J. Posey "Hydraulics of steady flow in open channels".

## 5.1 - IC.

## 4.2.4.2. Coeficiente de Escorrentía.

Hasta que un método más preciso permita determinar la escorrentía para unas condiciones dadas, se utilizarán los coeficientes de la tabla 4.2.4.2a.

Los valores más elevados para cada tipo de superficie corresponden a las pendientes más fuertes y a los suelos más impermeables.

Cuando la cuenca se componga de zonas de distintas características, se obtendrá un coeficiente ponderado de escorrentía, teniendo en cuenta el área y coeficientes de escorrentía de las zonas que la constituyen.

TABLA 4.2.4.2a

Tipo de superficie	Coefficiente de escorrentía
Pavimentos de hormigón y bituminosos .....	0,70 a 0,95
Pavimentos de macadam .....	0,25 a 0,60
Adoquinados .....	0,50 a 0,70
Superficie de grava .....	0,15 a 0,30
Zonas arboladas y bosque .....	0,10 a 0,20
Zonas con vegetación densa:	
Terrenos granulares .....	0,05 a 0,35
Terrenos arcillosos .....	0,15 a 0,50
Zonas con vegetación media:	
Terrenos granulares .....	0,10 a 0,50
Terrenos arcillosos .....	0,30 a 0,75
Tierra sin vegetación .....	0,20 a 0,80
Zonas cultivadas .....	0,20 a 0,40

En la mayor parte de los casos, se obtendrá un valor, suficientemente aproximado, del coeficiente de escorrentía, utilizando la tabla 4.2.4.2b. A cada suma de índices K, para las cuatro (4) condiciones generales señaladas en la tabla, corresponderá un valor de C, de acuerdo con los límites que en la misma se establecen.

En una primera aproximación, puede aceptarse como coeficiente de escorrentía media el de 0,50.

## 4.2.4.3. Intensidad de Lluvia.

El factor I de la fórmula racional representa la intensidad media de la precipitación máxima, de duración igual al tiempo de concentración y frecuencia correspondiente al periodo de retorno fijado en el proyecto.

## 4.2.4.3.1. Tiempo de Concentración.

Se compone de dos sumandos: el tiempo necesario para que el agua corra por el terreno desde el punto más alejado al sumidero del dren y el preciso para que llegue del sumidero a la sección considerada.

Para determinar el tiempo de concentración, pueden utilizarse testigos que sean fácilmente arrastrados por el agua en la cabecera de la cuenca mientras llueve, midiendo el tiempo que tardan en llegar al punto que interesa.

En su defecto, el cálculo aproximado del primero de los sumandos indicados se efectuará utilizando el ábaco de la figura 4.2.4.3.1. y la determinación del segundo sumando se hará a la

TABLA 4.2.4. 2b - COEFICIENTE DE ESCORRENTIA

	VALORES DE K			
	40	30	20	10
1 - Relieve del terreno	Muy accidentado pendientes superiores al 30 %.	Accidentado pendientes entre el 10 % y el 30 %	Ondulado pendientes entre el 5 % y el 10 %	Llano pendientes inferiores al 5 %
2 - Permeabilidad del suelo	20 Muy impermeable Roca	15 Bastante impermeable Arcilla	10 Bastante permeable Normal	5 Muy permeable Arena
3 - Vegetación	20 Ninguna	15 Poca Menos del 10 % de la superficie	10 Bastante Hasta el 50 % de la superficie	5 Mucha Hasta el 90 % de la superficie
4 - Capacidad de almacenaje de agua	20 Ninguna	15 Poca	10 Bastante	5 Mucha
Valor de K comprendido entre	75 - 100	50 - 75	30 - 50	25 - 30
Valor de C	0,65 - 0,80	0,50 - 0,65	0,35 - 0,50	0,20 - 0,35

5.1 - IC.

vista de las características hidráulicas del colector. En el cálculo de obras de desagüe este sumando será, normalmente, despreciable. Si, por las dimensiones de la cuenca, no se puede aplicar el ábaco, se utilizará la fórmula

$$T = \left[ \frac{0,871 L^3}{H} \right]^{0,385}$$

en la que

- T es el tiempo de concentración, en horas.
- L es la longitud de recorrido, en km.
- H es el desnivel entre la cabecera de la cuenca y el punto de desagüe, en m.

La aplicación de esta fórmula se limitará a cuencas de extensión inferior a 5.000 Ha.

4.2.4.3.2. Cálculo de las precipitaciones.

La correlación entre la intensidad media de precipitación de duración variable y la intensidad media de la precipitación horaria máxima que se refiere al mismo período de retorno viene dada por la fórmula

$$I_t = 9,25 I_h t^{-0,55}$$

en la que

- $I_t$  es la intensidad media horaria que corresponde a la precipitación de duración t, en mm/h.
- $I_h$  es la intensidad media de la precipitación horaria máxima, en mm/h.
- t es la duración de la precipitación, en minutos.

Para la aplicación de la fórmula anterior, puede utilizarse el ábaco representado en la figura 4.2.4.3.2a.

El valor de la máxima precipitación horaria que corresponde a un determinado período de retorno,  $I_h$ , se solicitará del Servicio Meteorológico Nacional.

En defecto de tales datos, se tomará como máxima precipitación horaria el 25 % de la máxima precipitación diaria correspondiente al mismo período de retorno. Las isohietas de las figuras 4.2.4.3.2b. - c y d pueden ser de utilidad en la determinación de máximas precipitaciones.

4.2.4.4. Superficie de la Cuenca Aportadora.

Se medirá sobre el terreno o sobre los planos disponibles. Su valor en la fórmula reseñada se expresará en Ha.

4.2.5. Fórmula de Bürkli - Ziegler.

Su aplicación puede ser útil en zonas de bastante extensión, por ejemplo de área superior a 200 Ha.

$$Q = 3,90 A I_m C \sqrt[4]{\frac{J}{A}}$$

en la que

- Q es el caudal, en l/s.
- A es la superficie de la cuenca, en Ha.
- $I_m$  es la intensidad de la lluvia, en mm.
- C es el coeficiente de escorrentía
- J es la pendiente

La intensidad de la lluvia se calculará de modo análogo al reseñado en el epígrafe 4.2.4.

TABLA 4.2.6.

Tipo de terreno	K
Terreno montañoso con pendientes fuertes .....	0,18
Terreno ondulado con pendientes moderadas .....	0,12
Valles aislados muy anchos en relación con su longitud .....	0,09
Terreno agrícola con cuenca a desaguar de longitud tres o cuatro veces su ancho .....	0,06
Terreno muy llano sujeto a nevadas o inundaciones .....	0,04

4.2.6 Fórmula de Talbot.

La fórmula de Talbot relaciona la sección de desagüe necesaria con el área de la cuenca de la forma siguiente:

$$S = K \sqrt[4]{A^3}$$

en la que

- S es la sección de desagüe de la obra de fábrica, en m<sup>2</sup>
- K es un coeficiente variable con las características topográficas y físicas de la cuenca aportadora.
- A es la superficie de la cuenca aportadora, en Ha.

Pueden utilizarse los valores de K recogidos en la tabla 4.2.6.

Estos valores del coeficiente K servirán de orientación y deberán ser modificados de acuerdo con la experiencia local.

5. Drenaje superficial.

5.1. Drenaje de los diversos Elementos de la Sección Transversal.

5.1.1. Plataforma.

De acuerdo con el tipo de pavimento elegido y la naturaleza de los arcenes, en las secciones en recta se adoptarán las siguientes pendientes transversales.

Pavimento	Pendiente transversal en %	
	Calzada	Arcenes
De hormigón	1,5 a 2,5	4 a 8
Bituminoso	1,5 a 2,5	
De macadam	2 a 4	

En las secciones en curva y transiciones, las pendientes transversales de la plataforma vendrán impuestas por las exigencias de las normas correspondientes a sus características geométricas.

5.1.2. Mediana.

En el caso de medianas elevadas, debe darse a éstas un ligero bombeo de modo que el agua de escorrentía vierta en los bordes de las plataformas adyacentes.

5.1 - IC.

En las medianas hundidas, el agua de escorrentía correrá por su parte inferior, como si realmente fuera una cuneta superficial. Por tanto, será necesario disponer de sumideros que desagüen el agua precipitada a un colector de recogida general.

5.1.3. Taludes Adyacentes.

La tabla 5.1.3. puede servir de orientación para fijar los taludes mínimos aconsejables.

5.2. Obras de Recogida y Evacuación de Aguas Superficiales.

5.2.1. Cunetas.

5.2.1.1. Condiciones Generales.

Las cunetas longitudinales deben proyectarse para satisfacer una o varias de las finalidades siguientes:

- a) Recoger las aguas de escorrentía procedentes de la calzada y de los taludes de los desmontes adyacentes.
- b) Recoger las aguas infiltradas en el firme y terreno adyacente.
- c) Almacenar la nieve.
- d) Controlar el nivel freático.

Al proyectar una cuneta, han de fijarse, mediante los cálculos hidráulicos correspondientes, su sección transversal, la pendiente longitudinal y los puntos de desagüe, así como el tipo de revestimiento, en caso necesario.

La velocidad de circulación del agua debe limitarse para evitar la erosión, sin reducirla tanto que pueda dar lugar al depósito de sedimentos. La velocidad mínima aconsejable es de 0,25 m/s y las máximas admisibles se indican en la tabla 5.2.1.1.

TABLA 5.2.1.1.

Tipo de revestimiento	Velocidad admisible m/s
Hierba bien cuidada en cualquier clase de terreno .....	1,80
Terreno parcialmente cubierto de vegetación .....	0,60 - 1,20
Arena fina o limo (poca o ninguna arcilla) .....	0,30 - 0,60
Arena arcillosa dura .....	0,60 - 0,90
Arcilla dura muy coloidal .....	1,20
Arcilla con mezcla de grava .....	1,20
Grava gruesa .....	1,20
Pizarra blanda .....	1,50
Mampostería .....	4,50
Hormigón .....	4,50

5.2.1.2. Cálculo Hidráulico.

Comprenderá dos fases:

- a) Cálculo de los caudales a desaguar

- b) Determinación de la capacidad hidráulica de la cuneta.

Los caudales a desaguar se calcularán aplicando el método racional o, en su defecto, el método de Talbot, según lo indicado en el epígrafe 4 de esta Instrucción.

La capacidad hidráulica se determinará aplicando la fórmula de Manning, con los coeficientes de rugosidad que se señalan en la tabla 5.2.1.2a. Los ábacos de las figuras 5.2.1.2. son el resultado de la aplicación de la fórmula de Manning a diversos tipos de la sección transversal. La tabla 5.2.1.2b. se deduce de la aplicación de la fórmula de Talbot.

TABLA 5.2.1.2a

Tipo de revestimiento	n
Tierra ordinaria con superficie uniforme	0,02
Hierba (altura de la lámina de agua superior a 15 cm.) .....	0,04
Hierba (altura de la lámina de agua inferior a 15 cm.) .....	0,06
Hierba espesa .....	0,10
Encachado de piedra, rugoso .....	0,04
Encachado de piedra, liso .....	0,02
Hormigón rugoso .....	0,024
Hormigón liso .....	0,012

5.2.1.3. Sección Transversal.

Se adoptarán las secciones transversales que se indican en las figuras 5.2.1.3.

Corresponden a tres grupos de cunetas:

- Triangulares, tipo V (figuras 5.2.1.3a)
- Trapeciales, tipo T (figuras 5.2.1.3b)
- Reducidas (figura 5.2.1.3c)

Las de los dos primeros grupos se utilizarán para recoger el agua de escorrentía y la infiltrada en el firme.

Para ello, deberán prolongarse las capas drenantes del mismo hasta el talud del cajero interior de la cuneta, de modo que su nivel inferior quede, por lo menos, 30 cm. por encima del fondo de la cuneta.

Las cunetas reducidas se utilizarán solo para recoger aguas superficiales. Por tanto, se deberán completar, normalmente, con drenes subterráneos para captar aguas infiltradas.

En todo caso, será necesario evitar que el agua recogida por las cunetas superficiales se infiltre en el firme

5.2.1.4. Pendientes

Las pendientes mínimas serán las siguientes:

- Cunetas revestidas 0,2 %
- Cunetas sin revestir 0,5 %

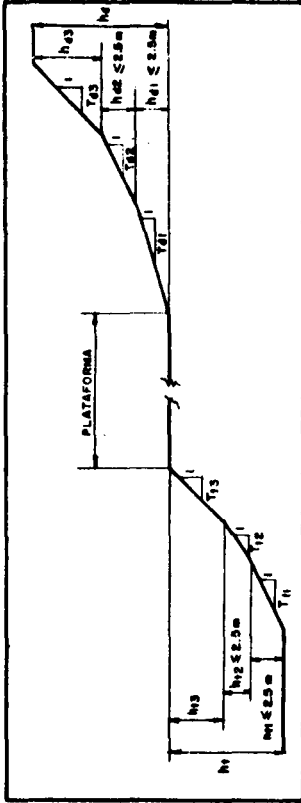
Siempre que sea posible, se procurará llegar al 1 % de pendiente.

5.2.1.5. Puntos de Desagüe.

Se limitará la longitud de las cunetas desaguan-



5.1 - IC.



TALUDES MINIMOS ACONSEJABLES

TABLA 5.1.3

CONDICIONES			DESMONTE T <sub>d</sub>						TERRAPLEN T <sub>t</sub>															
TRAFICO	GRUPO	I. M. D.	TERRENO	Nº	TIERRA			ROCA	TIERRA			ROCA	TIERRA											
					h <sub>d</sub> <= 2.5m				h <sub>d</sub> <= 5m				h <sub>d</sub> > 5m			h <sub>t</sub> <= 2.5m			h <sub>t</sub> <= 5m			h <sub>t</sub> > 5m		
					T <sub>d1</sub>	T <sub>d2</sub>	T <sub>d3</sub>		T <sub>d1</sub>	T <sub>d2</sub>	T <sub>d3</sub>		T <sub>t1</sub>	T <sub>t2</sub>	T <sub>t3</sub>	T <sub>t1</sub>	T <sub>t2</sub>	T <sub>t3</sub>	T <sub>t1</sub>	T <sub>t2</sub>	T <sub>t3</sub>			
LIGERO	10	< 250	LL	12	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5							
			0	14	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5						
	A	16	1.5	1.5	1.0	1.5	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5							
	MA	18	1.5	1.5	1.0	1.5	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5							
MEDIO	20	250-500	LL	22	2.5	2.5	2.0	2.5	2.0	2.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5							
			0	24	2.5	2.5	2.0	2.5	2.0	2.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5						
	A	26	2.0	2.0	1.5	2.0	1.5	2.0	1.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0							
	MA	28	2.0	2.0	1.5	2.0	1.5	2.0	1.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0							
PESADO	30	500-1.000	LL	32	2.5	2.5	2.0	2.5	2.0	2.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5							
			0	34	2.5	2.5	2.0	2.5	2.0	2.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5						
	A	36	2.0	2.0	1.5	2.0	1.5	2.0	1.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0							
	MA	38	2.0	2.0	1.5	2.0	1.5	2.0	1.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0							
PESADO	40	1.000-2.000	LL	42	2.5	2.5	2.0	2.5	2.0	2.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5							
			0	44	2.5	2.5	2.0	2.5	2.0	2.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5						
	A	46	2.0	2.0	1.5	2.0	1.5	2.0	1.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0							
	MA	48	2.0	2.0	1.5	2.0	1.5	2.0	1.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0							
PESADO	50	2.000-5.000	LL	52	3.0	3.0	2.5	3.0	2.5	2.5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0							
			0	54	2.5	2.5	2.0	2.5	2.0	2.5	2.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5						
	A-MA	56	2.5	2.5	2.0	2.5	2.0	2.5	2.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5							
	LL	62	3.0	3.0	2.5	3.0	2.5	3.0	2.5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0							
PESADO	60	> 5.000	0	64	2.5	2.5	2.0	2.5	2.0	2.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5							
			A-MA	66	2.5	2.5	2.0	2.5	2.0	2.5	2.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5						

## 5.1 - IC.

dolas en los cauces naturales del terreno, en las obras de fábrica que cruzan la carretera, o proyectando desagües donde no existan, de forma que la longitud máxima entre desagües no exceda de 150 m.

Las cunetas no deben interrumpirse en la transición del desmonte a terraplén, de cuyo pie las aguas deberán alejarse proyectando cauces bien definidos.

## 5.2.1.6. Revestimiento.

Si la cuneta es de material fácilmente erosionable y se proyecta con fuerte pendiente longitudinal, se protegerá con un revestimiento resistente a la erosión.

## 5.2.1.7. Cunetas de Coronación en Desmonte.

Si las aguas que recoge el talud del desmonte pueden producir erosión o corrimientos, se proyectará una cuneta protectora sobre la coronación del talud y a poca distancia de la misma, para recoger las aguas superficiales y conducir las a puntos de desagüe donde viertan sin producir erosión.

## 5.2.1.8. Cunetas de Coronación en Terraplén.

En los terraplenes, el agua procedente de la superficie del pavimento y arcenes cae por los taludes. Si es de temer la erosión de los terraplenes por la acción de las aguas superficiales, debe proyectarse una cuneta poco profunda, a lo largo de los arcenes, para conducir el agua hasta los puntos de desagüe donde vierta sin producir erosión. La cuneta deberá situarse en el borde exterior del arcén, a fin de que no constituya un peligro para la circulación, y puede formarse mediante un pequeño borde elevado de tierra e, incluso, pavimentarse si las condiciones lo requieren.

## 5.2.2. Caces.

En la figura 5.2.2., se detallan diversos tipos de caces que se pueden utilizar en los bordes de la calzada para recoger el agua superficial procedente de la misma y de las aceras o arcenes.

Para el cálculo de la capacidad hidráulica de caces puede utilizarse la fórmula

$$Q = \frac{0,00167 \cdot Z \cdot J^{1/2} H^{8/3}}{n}$$

en la que

Q es el caudal, en l/s

Z es la pendiente transversal del fondo del canal

J es la pendiente longitudinal del canal.

H es la profundidad máxima del agua, en cm.

n es el coeficiente de rugosidad.

En todo caso, debe considerarse el ancho máximo en el que puede extenderse la corriente de agua, sin que constituya peligro para la circulación.

## 5.2.3. Sumideros.

Se utilizarán para recoger el agua de escorrentía superficial que corre por los caces. Pueden pro-

TABLA 5.2.1.2b

Sección transversal de cuneta, en m<sup>2</sup> necesaria para drenar un área de A hectáreas.

A Ha.	TERRENO				
	Muy llano	Llano	Ondulado	Accidentado	Muy accidentado
0,5	0,0218	0,0381	0,0599	0,0871	0,120
1	0,0366	0,0641	0,101	0,146	0,201
2	0,0616	0,108	0,169	0,246	0,339
3	0,0835	0,146	0,230	0,334	0,459
4	0,104	0,181	0,285	0,414	0,570
5	0,122	0,214	0,337	0,490	0,673
6	0,140	0,246	0,386	0,562	0,772
7	0,158	0,276	0,433	0,630	0,867
8	0,174	0,305	0,479	0,697	0,958
9	0,190	0,333	0,523	0,761	1,047
10	0,206	0,360	0,566	0,824	1,133
11	0,221	0,387	0,608	0,885	1,217
12	0,236	0,413	0,649	0,944	1,299
13	0,251	0,439	0,689	1,003	1,379
14	0,265	0,464	0,729	1,060	1,458
15	0,279	0,488	0,768	1,117	1,535
16	0,293	0,513	0,806	1,172	1,611
17	0,307	0,537	0,843	1,226	1,686
18	0,320	0,560	0,880	1,280	1,760
19	0,333	0,583	0,917	1,333	1,833
20	0,346	0,606	0,952	1,385	1,905
22	0,372	0,651	1,023	1,488	2,046
24	0,397	0,695	1,092	1,588	2,184
26	0,422	0,738	1,160	1,687	2,319
28	0,446	0,780	1,226	1,783	2,452
30	0,479	0,822	1,291	1,878	2,582
32	0,493	0,862	1,355	1,971	2,710
34	0,516	0,902	1,418	2,063	2,836
36	0,538	0,942	1,480	2,153	2,960
38	0,560	0,981	1,541	2,242	3,083
40	0,582	1,019	1,602	2,330	3,204
45	0,636	1,114	1,750	2,545	3,500
50	0,687	1,205	1,894	2,755	3,788
55	0,740	1,294	2,074	2,959	4,068
60	0,790	1,382	2,171	3,158	4,343
65	0,838	1,467	2,306	3,354	4,611
70	0,886	1,551	2,437	3,545	4,875
75	0,933	1,633	2,567	3,734	5,134
80	0,980	1,714	2,694	3,929	5,388
85	1,025	1,794	2,819	4,101	5,639
90	1,070	1,873	2,943	4,281	5,866
95	1,114	1,950	3,065	4,458	6,130
100	1,158	2,027	3,185	4,733	6,370

yectarse de tres tipos: laterales en bordillo, horizontales y mixtos (figura 5.2.3a.).

En carreteras no son convenientes los que van provistos de rejilla hundida con relación al plano del caz.

La capacidad del sumidero puede estimarse como sigue:

a) Laterales en bordillo.

Con la fórmula

$$Q = 0,00383 (a + H)^{3/2}$$

## 5.1 - IC.

en la que

Q es el caudal, en l/s.

a es la depresión en la entrada, si existe, en cm.

H es la profundidad de la lámina de agua, en cm. (Debe estimarse en el caz, junto al sumidero).

## b) Horizontales.

1º. Si la profundidad de la lámina de agua es inferior a 12 cm.

$$Q = 0,0164 PH^{3/2}$$

en la que

Q es el caudal, en l/s.

P es el perímetro de la abertura, en cm.

H es la profundidad de la lámina de agua, en cm. (Debe estimarse en el caz, junto al sumidero).

2º Si la profundidad de la lámina de agua es superior a 40 cm.

$$Q = 29,6 \cdot S \cdot \sqrt{H}$$

en la que

Q es el caudal, en l/s.

S es el área del sumidero, en m<sup>2</sup>

H es la altura de la lámina en agua, en cm. (Debe estimarse en el caz, junto al sumidero).

3º. Si la profundidad de la lámina de agua está entre 12 cm. y 40 cm., se tomará el menor de los dos valores obtenidos, aplicando las dos fórmulas anteriores.

## c) Mixtos

Se determinará, separadamente, la de cada uno de los dos tipos que los constituyen, suponiendo que estuvieran uno a continuación de otro.

La capacidad de los sumideros depende de su espaciamiento, el que, a su vez, es función de la profundidad alcanzada por el agua en el caz. El espaciamiento se fijará de modo que la capacidad iguale al caudal que a ellos va a afluir, siendo normal situarlos a distancias que oscilan entre los 25 m. y 50 m., según la pendiente longitudinal.

El caudal que ha de afluir a cada sumidero puede determinarse según el método indicado en el epígrafe 4.2.4.

En los sumideros horizontales, las barras de las rejillas deben disponerse paralelas a la dirección de la corriente. El ancho del sumidero debe ser igual al ancho normal del caz.

En el sumidero debe disponerse una cámara cilíndrica o paralelepípedica, provista de arenoso de sedimentación, de la que partirá la conexión al sistema general de alcantarillado (figura 5.2.3b).

## 6. Drenaje subterráneo.

## 6.1. Condiciones Generales.

El drenaje subterráneo se proyectará para controlar y/o limitar la humedad de la explanada y de los diversos elementos del firme de una ca-

rrera.

Sus funciones serán alguna o varias de las siguientes:

- Interceptar y desviar corrientes subterráneas antes de que lleguen al lecho de la carretera.
- Hacer descender el nivel freático.
- Sanear las capas del firme.

Las figuras 6.1a y 6.1b muestran la disposición general que deben tener los drenes subterráneos.

## 6.2. Drenes Subterráneos.

## 6.2.1. Condiciones Generales.

El dren subterráneo estará constituido por una zanja en la que se colocará un tubo con orificios perforados, juntas abiertas, o de material poroso. Se rodeará de un material permeable, material filtro, compactado adecuadamente, y se aislará de las aguas superficiales por una capa impermeable que ocupe y cierre la parte superior de la zanja (figura 6.2.1a).

Las paredes de la zanja serán verticales o ligeramente inclinadas, salvo en drenes transversales o en espina de pez (epígrafe 6.4.3.), en que serán admisibles, incluso convenientes, pendientes más fuertes. En casos normales, el talud máximo no superará el valor 1/5.

Si se proyectan colectores longitudinales, puede aprovecharse la zanja del dren para la ubicación de aquéllos. En tal caso, se aconseja una disposición similar a la que se señala en la figura 6.2.1b.

## 6.2.2. La Tubería.

## 6.2.2.1. Condiciones Generales.

Los tubos serán de cualquier material que, a juicio del Ingeniero Autor del Proyecto, reúna las propiedades necesarias. Los tubos de cerámica u hormigón podrán proyectarse con juntas abiertas o perforaciones que permitan la entrada de agua en su interior. Los de plástico, de material ondulado, o de fibras bituminosas deberán ir provistos de ranuras u orificios para el mismo fin que el señalado anteriormente. Los de hormigón poroso permitirán la entrada del agua a través de sus paredes.

Se recomienda el empleo de tuberías de hormigón poroso o de plástico.

En las tuberías con juntas abiertas, el ancho de éstas oscilará entre 1 cm. y 2 cm. Los orificios de las tuberías perforadas se dispondrán, preferentemente, en la mitad inferior de la superficie del tubo y tendrán un diámetro entre 8 cm. y 10 cm.

En la figura 6.2.2.1., se indica la disposición que deben satisfacer los orificios de tuberías perforadas en la mitad inferior de la superficie del tubo.

Los tubos de hormigón poroso tendrán una superficie de absorción mínima del 20 % de la superficie total del tubo y una capacidad de absorción mínima de 50 litros/minuto por decímetro cuadrado de superficie, bajo una carga hidrostática de 1 kg/cm<sup>2</sup>.

5.1 - IC.

6.2.2.2. Condiciones Mecánicas.

Los tubos cerámicos o de hormigón tendrán una resistencia mínima, medida en el ensayo de los tres puntos de carga, de 1.000 Kg/m.

No será necesario calcular las tensiones que se desarrollan en los tubos por la acción de las cargas exteriores a ellos.

Cuando los tubos hayan de instalarse en la vertical de las cargas del tráfico, se situarán, como mínimo, a las profundidades que se señalan en la tabla 6.2.2.2.

TABLA 6.2.2.2.

Tipo de tubo	Profundidad mínima cm.	
	ϕ = 15 cm.	ϕ = 30 cm.
Cerámica .....	50	90
Plástico .....	50	75
Hormigón .....	50	75
Hormigón armado .....		60
Metal ondulado:		
Espesor 1,37 mm. ..	30	
Espesor 1,58 mm. ..		30

6.2.2.3. Condiciones Hidráulicas.

Normalmente, la capacidad hidráulica del dren queda limitada por la posibilidad de filtración lateral del agua a través del material permeable hacia los tubos; la capacidad hidráulica de éstos, con los diámetros que se indican en el epígrafe 6.2.2.4., será muy superior a la necesaria para las exigencias del drenaje.

No obstante, si existe la posibilidad de conocer el caudal de desagüe, puede hacerse el cálculo hidráulico de los tubos utilizando la fórmula de Manning u otra análoga de las que rigen el movimiento del agua en cauces abiertos. Se utilizará la tabla de coeficientes de rugosidad que se incluye a continuación:

TABLA 6.2.2.3.

Tipo de tubo	Coefficiente n de rugosidad
De Hormigón normal y cerámica	
Condiciones buenas .....	0,013
Condiciones medias .....	0,015
De Hormigón poroso	
Condiciones buenas .....	0,017
Condiciones medias .....	0,021
De Plástico	
Condiciones buenas .....	0,013
Condiciones medias .....	0,015
De metal	
Condiciones buenas .....	0,017
Condiciones medias .....	0,021

Las figuras 6.2.2.3. son ábacos para facilitar el cálculo hidráulico de los tubos en la hipótesis de que el agua llene la sección transversal, pero circule sin carga. Para otras alturas y diámetros no comprendidos en los ábacos, deberá hacerse el cálculo directamente.

6.2.2.4. Diámetros y Pendientes.

Los diámetros de los tubos oscilarán entre 10 cm. y 30 cm. Los diámetros hasta 20 cm. serán suficientes para longitudes inferiores a 120 m. Para longitudes mayores, se aumentará la sección. Los diámetros menores, sin bajar de 10 cm., se utilizarán con caudales y pendientes pequeños.

Las pendientes longitudinales no deben ser inferiores al 0,5 % y habrá de justificarse debidamente la necesidad de pendientes menores, que nunca serán inferiores al 0,2 %.

En tales casos, la tubería se asentará sobre una cuna de hormigón que permita asegurar la perfecta situación del tubo.

La velocidad del agua en las conducciones de drenaje estará comprendida entre 0,7 m/s y 4 m/s.

6.2.3. Relleno de Zanjas.

Cuando el fondo de la zanja se encuentre en terreno impermeable, para evitar la acumulación de agua bajo la tubería se preverá la colocación de una capa de material, perfectamente apisonado, y que puede ser del mismo terreno, alrededor del tubo, sin que alcance el nivel de las perforaciones, o se asentará sobre una cuna de hormigón. En caso de tuberías con juntas abiertas, éstas pueden cerrarse en su tercio inferior y dar a la capa impermeable el espesor correspondiente.

Si el fondo de la zanja se encuentra en terreno permeable, no son necesarias las anteriores precauciones.

La composición granulométrica del material permeable, material filtro, con el que se rellene la zanja del dren requiere una atención especial, pues de ella depende su buen funcionamiento.

Si  $d_n$  es el diámetro del elemento de suelo o filtro tal que n % de sus elementos en peso son menores que  $d_n$ , deben cumplirse las siguientes condiciones:

a) Para impedir el movimiento de las partículas del suelo hacia el material filtrante.

$$\frac{d_{15} \text{ del filtro}}{d_{85} \text{ del suelo}} \leq 5$$

$$\frac{d_{50} \text{ del filtro}}{d_{50} \text{ del suelo}} \leq 25$$

En el caso de terreno natural de granulometría uniforme, se sustituirá la primera relación por:

$$\frac{d_{15} \text{ del filtro}}{d_{85} \text{ del suelo}} \leq 4$$

b) Para que el agua alcance fácilmente el dren

## 5.1 - IC.

$$\frac{d_{15} \text{ del filtro}}{d_{15} \text{ del suelo}} \geq 5$$

c) Para evitar el peligro de colmatación de los tubos por el material filtro.

En los tubos con perforaciones circulares:

$$\frac{d_{85} \text{ del filtro}}{\text{diámetro del orificio del tubo}} > 1,0$$

En los tubos con juntas abiertas:

$$\frac{d_{85} \text{ del material filtro}}{\text{ancho de la junta}} > 1,2$$

En los tubos de hormigón poroso, se debe respetar la siguiente condición:

$$\frac{d_{15} \text{ del árido del dren poroso}}{d_{85} \text{ del filtro}} \leq 5$$

En caso de terrenos cohesivos, el límite superior para  $d_{15}$  del filtro se establecerá en 0,1 mm. Cuando sea preciso, deberán utilizarse en el proyecto dos o más materiales de filtros. Ordenados éstos desde el terreno natural a la tubería, deben satisfacer, cada uno con respecto al contiguo, las condiciones exigidas anteriormente entre el material filtro y el suelo a drenar. El último, que será el que rodea el tubo, deberá satisfacer, además, las condiciones que se han indicado en relación con el ancho de las juntas o diámetro de los orificios de dichos tubos. Para impedir cambios en la composición granulométrica o segregaciones del material filtro por movimiento de sus finos, debe utilizarse mate-

rial de coeficiente de uniformidad  $\left(\frac{d_{60}}{d_{10}}\right)$  inferior a 20, cuidadosamente compactado.

La figura 6.2.3a se incluye como ejemplo de determinación de la granulometría del material filtro de un dren subterráneo a partir de la granulometría del suelo que rodea la zanja del dren.

El dren subterráneo se proyectará cumpliendo las disposiciones que se detallan en la figura 6.2.3b, según se encuentre en terreno permeable o impermeable y sean necesarios uno o dos materiales filtro.

## 6.2.4. Arquetas y Registros.

En los drenes longitudinales se proyectarán, a intervalos regulares, arquetas o registros que permitan controlar el buen funcionamiento del drenaje y sirvan para evacuar el agua recogida por la tubería del dren, bien a un colector principal, bien a una cuneta situada, por ejemplo, al pie de un terraplén, a una vaguada natural o a otros dispositivos de desagüe.

Con independencia de lo anterior, deberán colocarse arquetas o registros en todos los cambios de alineación de la tubería de drenaje.

La distancia entre dos arquetas o registros consecutivos oscilará en general entre 30 m y 100 m y dependerá de la pendiente longitudinal del

tubo y de su capacidad de desagüe, de la disposición general del drenaje y de los elementos naturales existentes.

Las figuras 6.2.4a y 6.2.4b son esquemas de arquetas y registros que pueden servir de orientación para su proyecto.

En el caso de salida libre de la tubería de desagüe de la arqueta o del registro a una cuneta, a una vaguada, etc. se cuidará que el nivel de la salida quede lo suficientemente alto y con las protecciones necesarias para impedir su aterramiento, inundación, entrada de animales, etc.

## 6.3. Investigación del Agua Freática.

La presencia de un nivel freático elevado exigirá una investigación cuidadosa de sus causas y naturaleza. Deberán practicarse los pozos y orificios que se consideren precisos para fijar la posición del nivel freático y, si es posible, la naturaleza, origen y movimientos del agua subterránea.

El reconocimiento se debe efectuar al final del invierno, época en la que, en condiciones normales, alcanzará su máxima altura.

Los casos que pueden presentarse en la práctica y su tratamiento adecuado son innumerables. Algunos de ellos se señalan en la figura 6.3.

## 6.4. Drenes de Intercepción.

## 6.4.1. Objeto y Clasificación.

Se proyectarán drenes de intersección para cortar corrientes subterráneas e impedir que alcancen las inmediaciones de la carretera.

Se clasifican, por su posición, en longitudinales y transversales.

## 6.4.2. Longitudinales.

El dren de intersección deberá proyectarse cumpliendo las condiciones generales expuestas anteriormente para los drenes enterrados.

El fondo del tubo debe quedar, por lo menos, 15 cm. por debajo del plano superior de la capa impermeable, o relativamente impermeable, que sirve de lecho a la corriente subterránea. En el caso de que esta capa sea roca, deben extremarse las precauciones para evitar que parte de la filtración cruce el dren por debajo de la tubería.

El caudal a desaguar puede determinarse aforando la corriente subterránea. Para ello, se agotará el agua que afluya a la zanja en que se ha de situar el dren en una longitud y tiempo determinados.

Para interceptar filtraciones laterales que procedan de uno de los lados de la carretera, se dispondrá un sólo dren longitudinal en el lado de la filtración. Sin embargo, en el fondo de un valle o trinchera, donde el agua pueda proceder de ambos lados, deberán disponerse dos drenes de intersección, uno a cada lado de la carretera. Las figuras 6.4.2a y b son ejemplo de drenes longitudinales en carreteras a media ladera y en trinchera, respectivamente.

## 6.4.3. Transversales.

En carreteras en pendiente, los drenes longitu-

## 5.1 - IC.

dinales pueden no ser suficientes para interceptar todo el agua de filtración.

En estos casos, deberá instalarse drenes interceptores transversales normales al eje del camino o un drenaje en espina de pez.

La distancia entre drenes interceptores transversales será, por término medio, de 20 m. a 25 m. El drenaje en espina de pez se proyectará de acuerdo con las siguientes condiciones (figura 6.4.3a).

- a) El eje de las espinas formará con el eje de la carretera un ángulo de  $60^\circ$ .
- b) Las espinas estarán constituidas por una zanja situada bajo el nivel del plano superior de la explanada.
- c) Sus paredes serán inclinadas, con talud aproximado de  $1/2$ , para repartir, al máximo, el posible asiento diferencial.
- d) Las zanjas se rellenarán de material filtro.
- e) Las espinas llevarán una cuna de hormigón pobre o arcilla unida a la cuna del dren longitudinal.
- f) Las espinas consecutivas se situarán a distancias variables, que dependerán de la naturaleza del suelo que compone la explanada. Dichas distancias estarán comprendidas entre 6 m., para suelos muy arcillosos, y 28 m. para suelos arenosos.

Con independencia de la pendiente longitudinal de la carretera, se recomienda utilizar drenes en espina de pez al pasar de trinchera a terraplén, como protección de éste contra las aguas infiltradas procedentes de la trinchera (figura 6.4.3b).

## 6.5. Drenes para rebajar el Nivel Freático.

Para rebajar el nivel freático manteniéndolo a una profundidad conveniente del nivel superior de la explanada o del nivel máximo de penetración de la helada, deben proyectarse drenes enterrados longitudinales.

El nivel freático debe mantenerse de 1 m. a 1,50 m., según la naturaleza del suelo, bajo el nivel superior de la explanada. Para ello, el fondo de las zanjas drenantes deberá estar a una profundidad comprendida entre 1,20 m. y 1,80 m., bajo el nivel de la calzada.

Los drenes para rebajar el nivel freático se dispondrán, como mínimo, a 0,50 m. del borde de la calzada y en las secciones en trinchera entre dicha posición y la cuneta de pie.

En las figuras 6.5a y 6.5b se representan dispositivos para rebajar el nivel freático mediante drenes enterrados, en secciones a media ladera y en trinchera. Dichos drenes cumplen también la función de drenar el firme.

Para apreciar el efecto de una instalación de drenes sobre el nivel freático, se utilizará el siguiente procedimiento. Se excavarán dos zanjas paralelas, de unos 10 m. a 15 m. de longitud, en la línea de las zanjas de drenaje para la carretera, hasta una profundidad de unos 50 cm. por debajo del nivel a que se desea rebajar el agua freática. Se perforarán una serie de taladros, por ejemplo, a intervalos entre 1,5 m. y 3 m. en la

línea perpendicular al eje de la carretera y, por consiguiente, a las zanjas de drenaje. Se situarán los taladros entre ambas zanjas y exteriormente a ellas, por ejemplo, hasta unos 6 m. a cada lado. Efectuado este trabajo, se pueden hacer observaciones de los niveles de la capa freática en los taladros, antes y después de bombear el agua fuera de las zanjas, durante un período de tiempo suficiente para establecer las condiciones de equilibrio.

Dibujando un gráfico con estos resultados, puede estimarse el efecto de las zanjas de drenaje y establecer la correcta profundidad y separación de los drenes. La capacidad requerida para los tubos del dren puede estimarse por el grado de bombeo necesario para mantener las zanjas libres de agua.

## 6.6. Drenaje del Firme.

Salvo en el caso de explanadas permeables, debe proyectarse el drenaje de la capa drenante constituida por la base, por la subbase del firme, o por ambas, bien mediante drenes enterrados o prolongando la capa drenante hasta los taludes de los terraplenes o cunetas.

Además, deben darse pendientes transversales mínimas a la explanada, subbase y base. Los valores de estas pendientes mínimas y las disposiciones a adoptar con la capa drenante desaguando en el talud de un terraplén, en una cuneta, o en un dren enterrado, se detallan en la figura 6.6a.

Si se proyectan drenes enterrados para el drenaje del firme, deben situarse, por lo menos, a 0,50 m. del borde de la calzada, con la tubería por debajo del nivel de máxima penetración de la helada y con el borde superior de las cunetas de hormigón o arcilla del tubo a una profundidad de 15 cm. a 40 cm., bajo el nivel superior de la explanada (figura 6.6b).

Los drenes que deben proyectarse para interceptar filtraciones o rebajar un nivel freático elevado pueden utilizarse también para drenar el firme. En este caso, la tubería se situará a una profundidad mayor, de acuerdo con lo indicado en los epígrafes 6.4 y 6.5.

Cuando el suelo de la explanada sea arcilloso o limoso y, al humedecerse, pueda penetrar en el firme contaminándolo, deberá proyectarse una capa filtro de 10 cm. de espesor, como mínimo, cuya granulometría cumplirá las condiciones para material filtro del epígrafe 6.2.3.

## 6.7. Casos Especiales.

## 6.7.1. Protección del Suelo de la Explanada contra el Agua Libre en Terreno de elevado Nivel Freático. Llano y sin Desagüe.

Cuando haya de construirse una carretera en terreno llano y elevado nivel freático, se estudiará el rebajamiento del mismo por medio de drenes enterrados, tal como se detalla en el epígrafe 6.4. Si no existiera posibilidad de desaguar el sistema de drenaje, se proyectará la carretera en terraplén.

## 5.1 - IC.

Para la elección del material del terraplén, se tendrá en cuenta que su humedad de equilibrio debe disminuir rápidamente con la distancia al nivel freático y que el terraplén ha de construirse sobre un terreno saturado de agua, sin capacidad para resistir esfuerzos de compactación elevados.

La necesidad de proteger el terraplén mediante la colocación de membranas bituminosas u hojas de plástico, tratando su superficie con sustancias hidrófobas, o adoptando disposiciones análogas a la indicada en las figuras 6.7.1a y 6.7.1b, dependerá de la naturaleza y estado del terreno y del material disponible para la construcción del terraplén.

Si el terreno natural es compresible y está saturado, en el proyecto de los terraplenes de la carretera se considerará la conveniencia de acelerar su consolidación, mediante drenes verticales de arena, vaciado, u otras técnicas especiales.

#### 6.7.2. Protección del Suelo de Explanada situado bajo la Calzada contra los Movimientos Capilares del Agua entre este Suelo y el situado bajo Arcenes.

Las diferencias de humedad en el suelo bajo la calzada y bajo los arcenes facilitan los movimientos capilares y, al aumentar el contenido de humedad del suelo de la explanada bajo la calzada, disminuyen su capacidad resistente.

Para evitar esta disminución, las fisuraciones del suelo y los asentos diferenciales que con dicho aumento de humedad pueden producirse, deben utilizarse alguna de las siguientes técnicas:

- Impermeabilizar los arcenes en un ancho, al menos, de 1,50 m. a 2,00 m., a cada lado de la calzada.
- Establecer una membrana impermeable que impida el movimiento del agua capilar, situándola en un plano más o menos vertical bajo los bordes de la calzada.
- Construir zanjas anticapilares bajo los bordes de la calzada.

Tanto la membrana impermeable como las zanjas anticapilares deberán ejecutarse hasta una profundidad de 1,20 m. bajo la superficie de los arcenes. Pueden utilizarse como zanjas anticapilares las que se proyecten para el drenaje del firme, cuidando de que el material filtro rompa la continuidad en fase líquida entre el agua situada a un lado y otro de la misma.

#### *Efecto helada.*

En aquellos casos en que sea de temer el efecto helada, se actuará en la forma prevista al respecto en la Instrucción 6.1. I.C., aprobada en 21 de Marzo de 1963.

5.1 - IC.

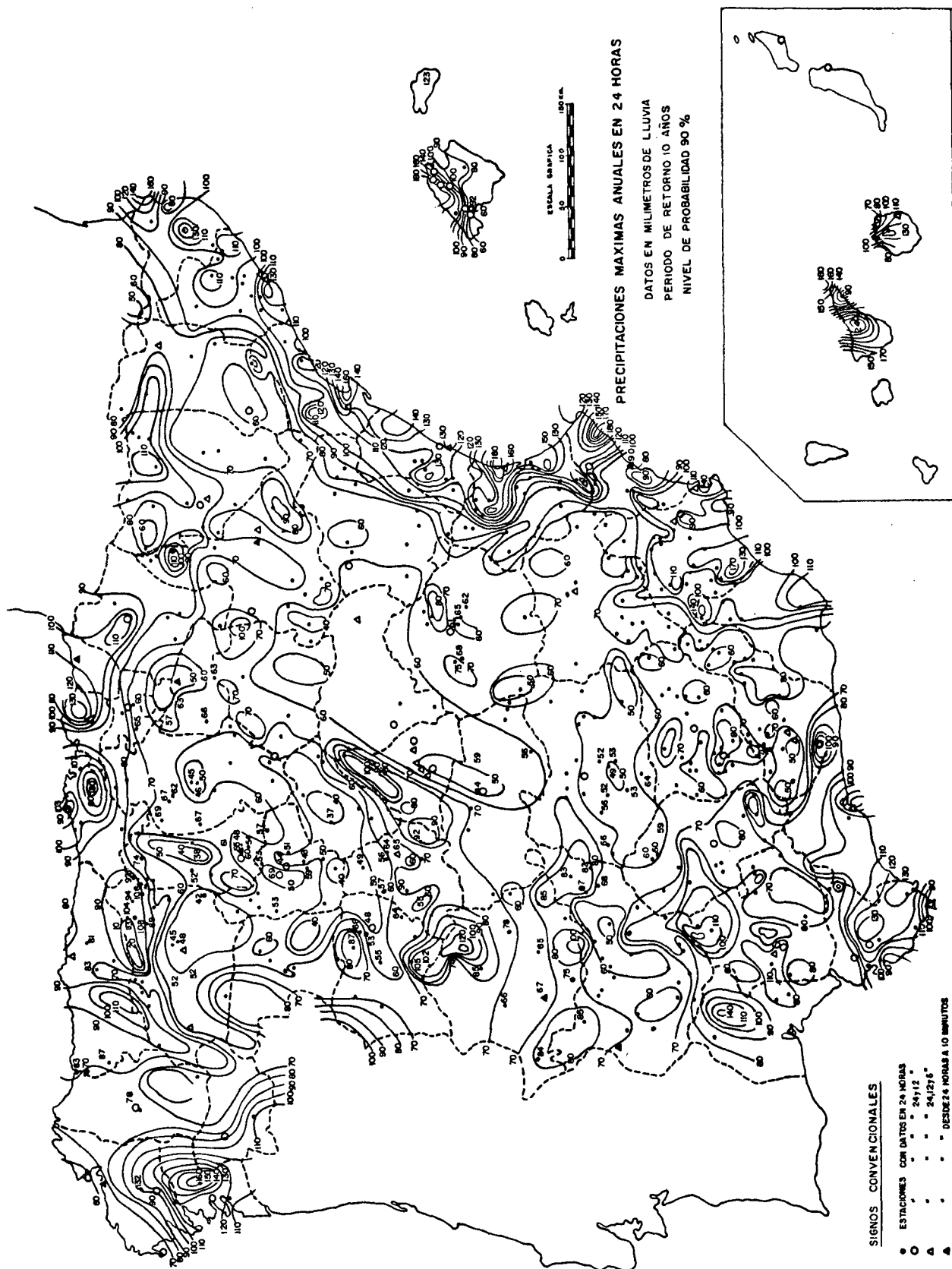


Fig. 4.2.4.3.2.d.

"Precipitaciones máximas en España" Servicio de Conservación de Suelos del Ministerio de Agricultura.- (Francisco Elías Castillo.- Ingeniero Agrónomo).



5.1 - IC.

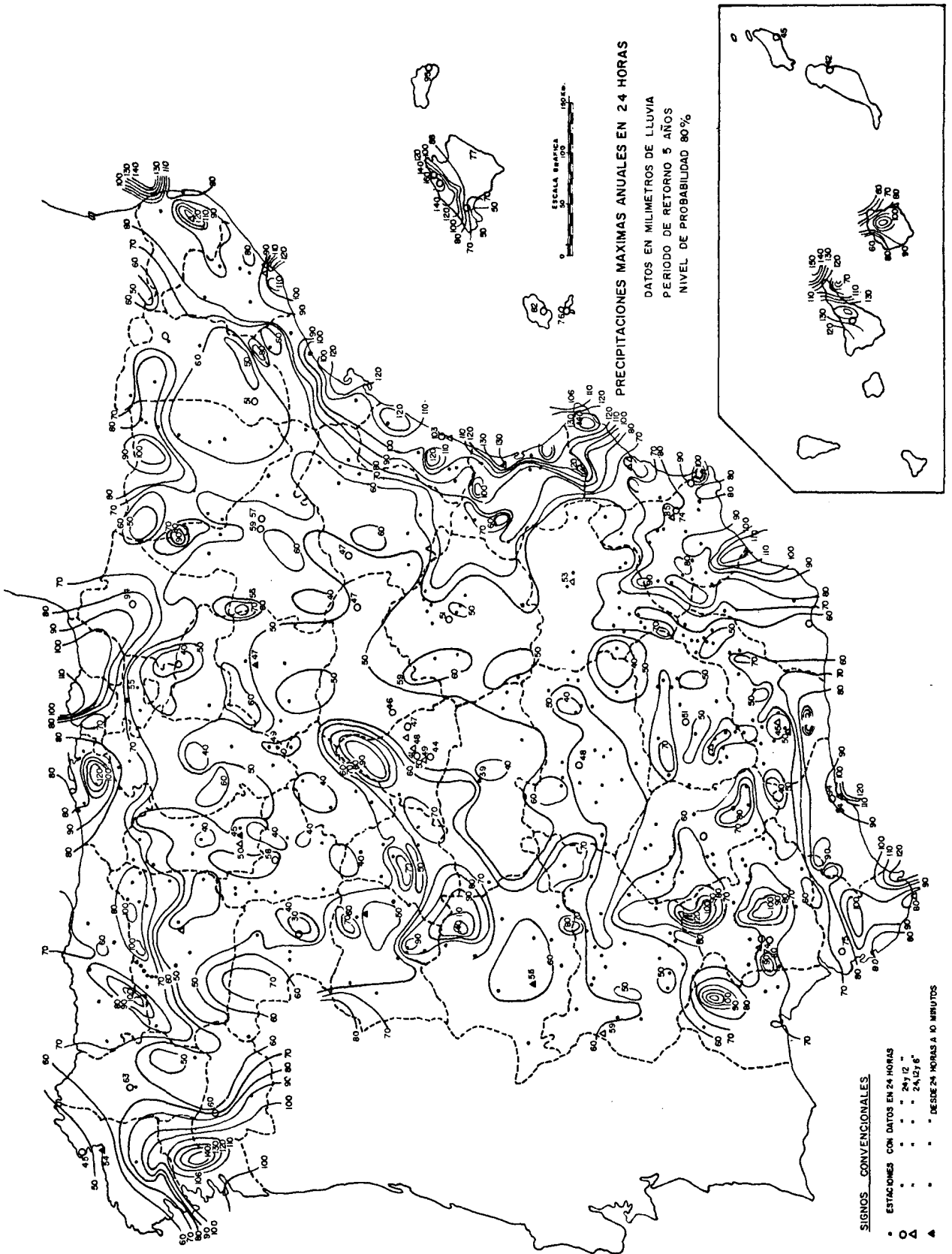


Fig.4.2.4.3.2.c.

"Precipitaciones máximas en España" Servicio de Conservación de Suelos del Ministerio de Agricultura.- (Francisco Elías Castillo.- Ingeniero Agrónomo).

5.1 - IC.

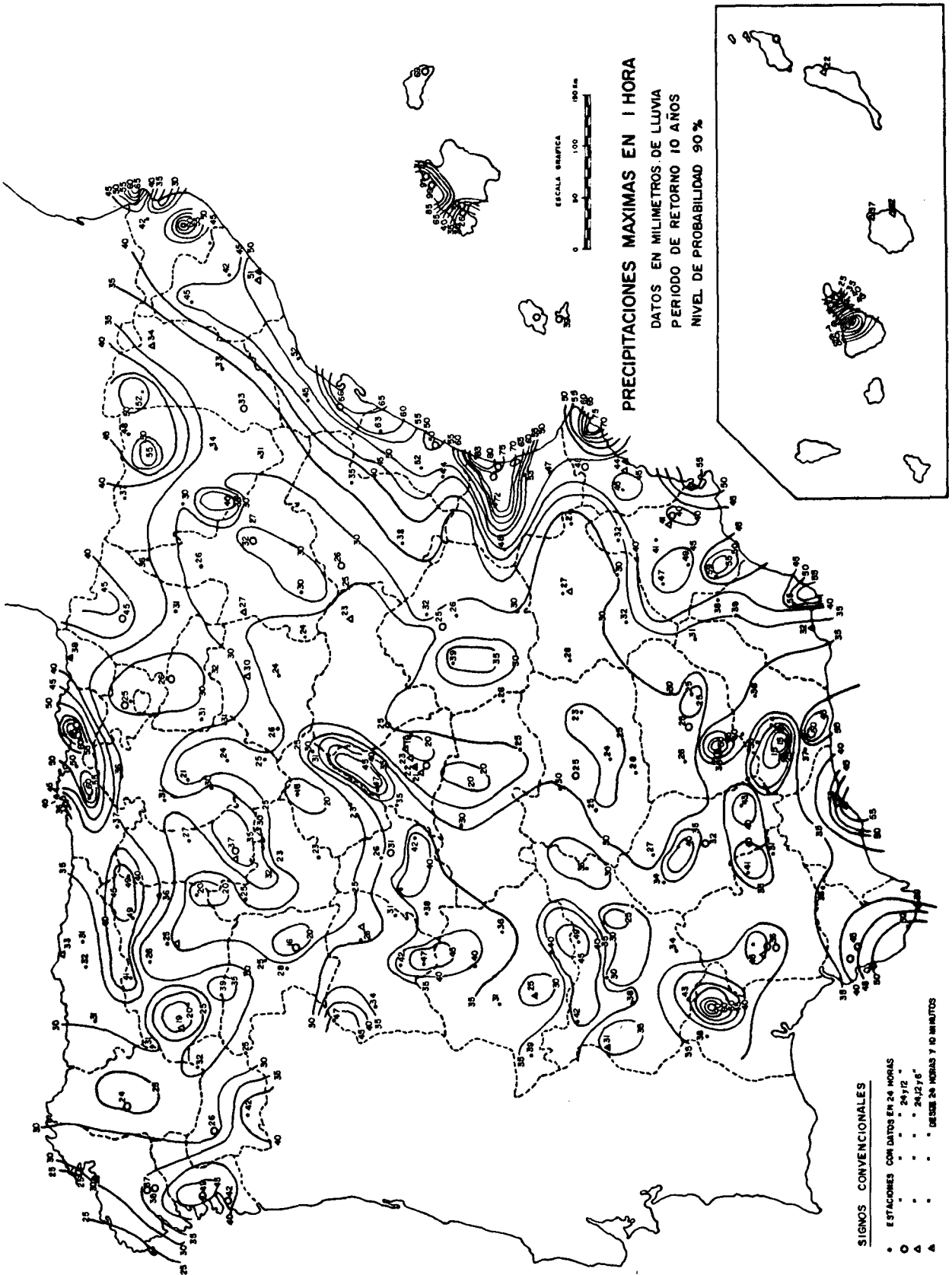


FIG. 4.2.4.3.2.b

"Precipitaciones máximas en España" Servicio de Conservación de Suelos del Ministerio de Agricultura.- (Francisco Elías Castillo.- Ingeniero Agrónomo).

5.1 - IC.

TIEMPO DE CONCENTRACION

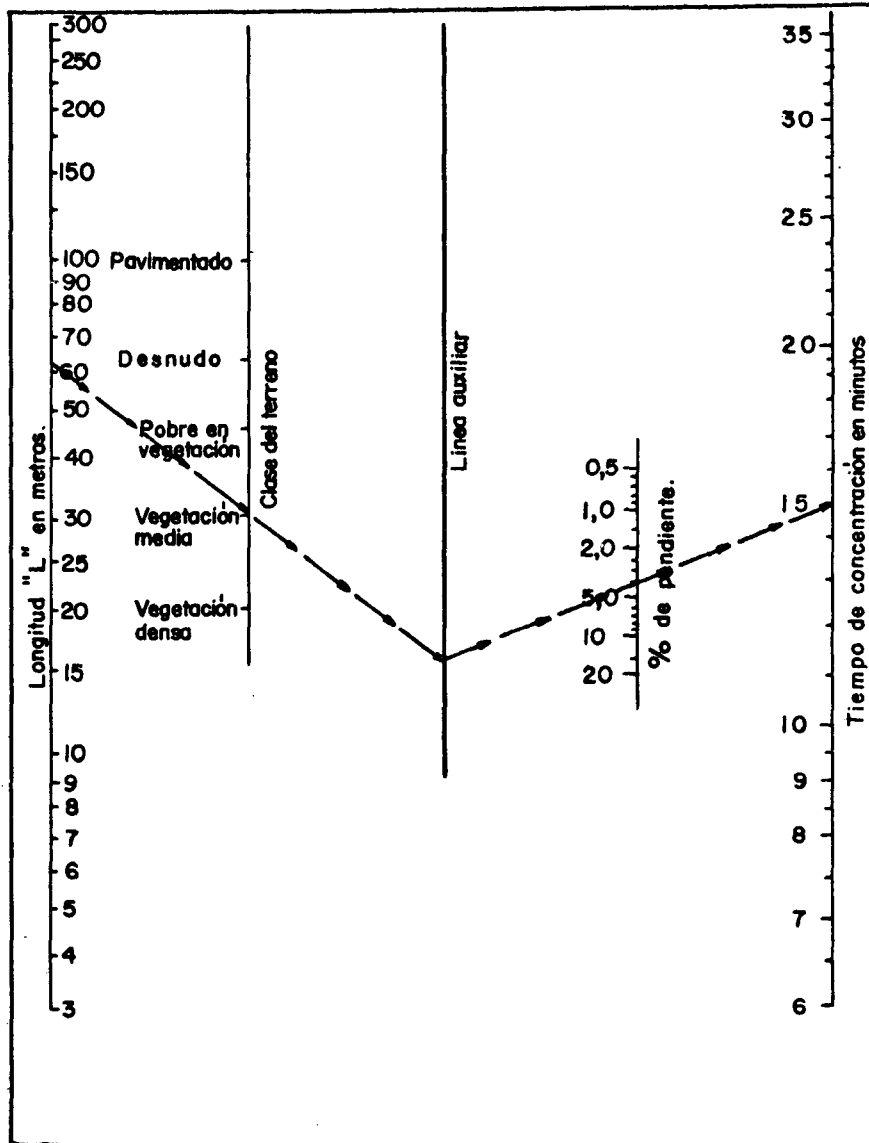


Figura 4.2.4.3.1

"Datos para el Dimensionamiento de Aljibes, Avenamientos y Desagües" I. E. Torroja.- (Jaime Nadal Aixalá.- Ingeniero de Caminos).

5.1 - IC.

CALCULO DE PRECIPITACIONES

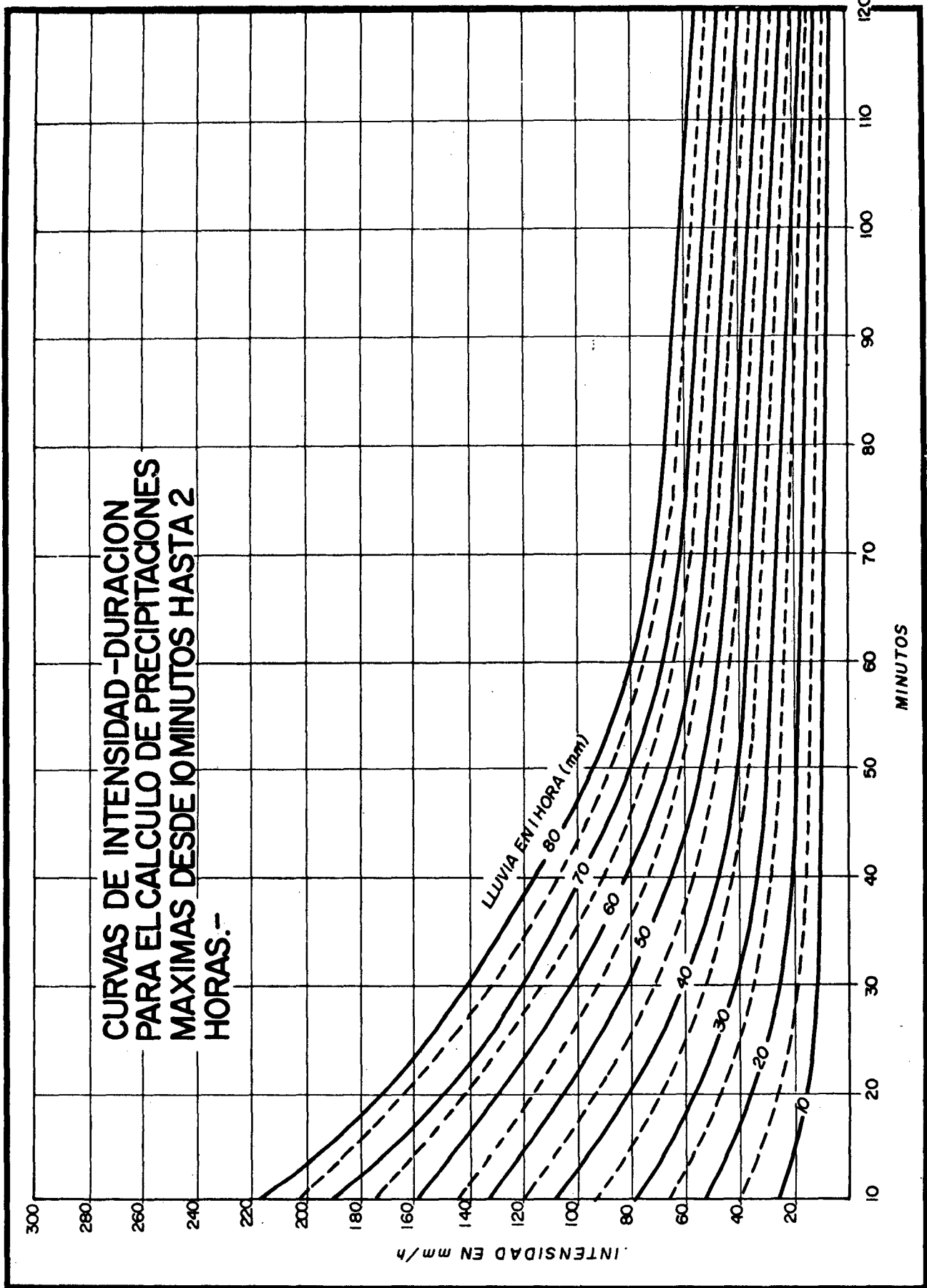


Figura 4.2.4.3.2 a

"Precipitaciones máximas en España" Servicio de Conservación de Suelos del Ministerio de Agricultura.- (Francisco Elfas Castillo.- Ingeniero Agrónomo).

5.1 - IC.

CALCULO HIDRAULICO DE CUNETAS

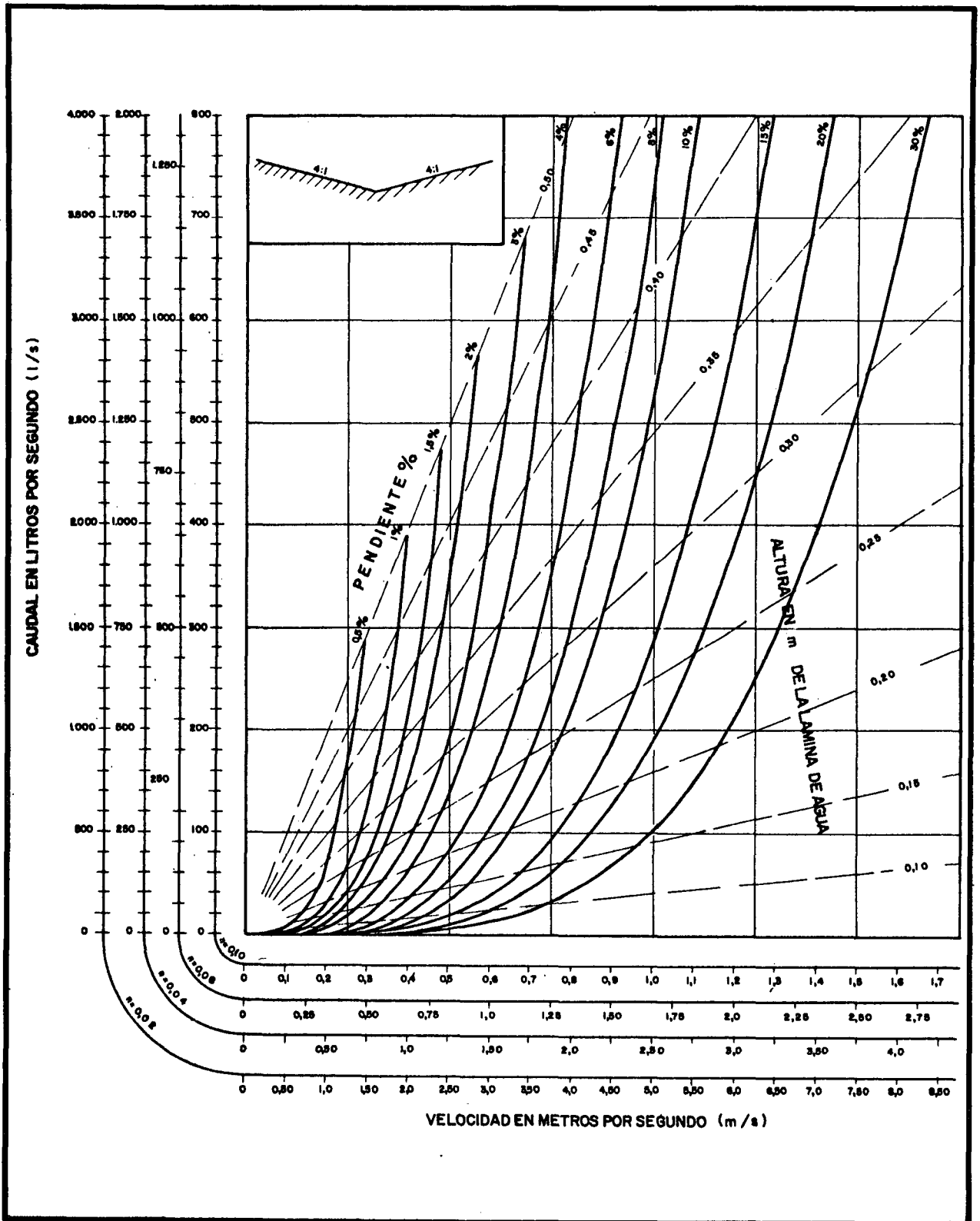


Figura 5.2.1.2.a

5.1 - IC.

CALCULO HIDRAULICO DE CUNETAS

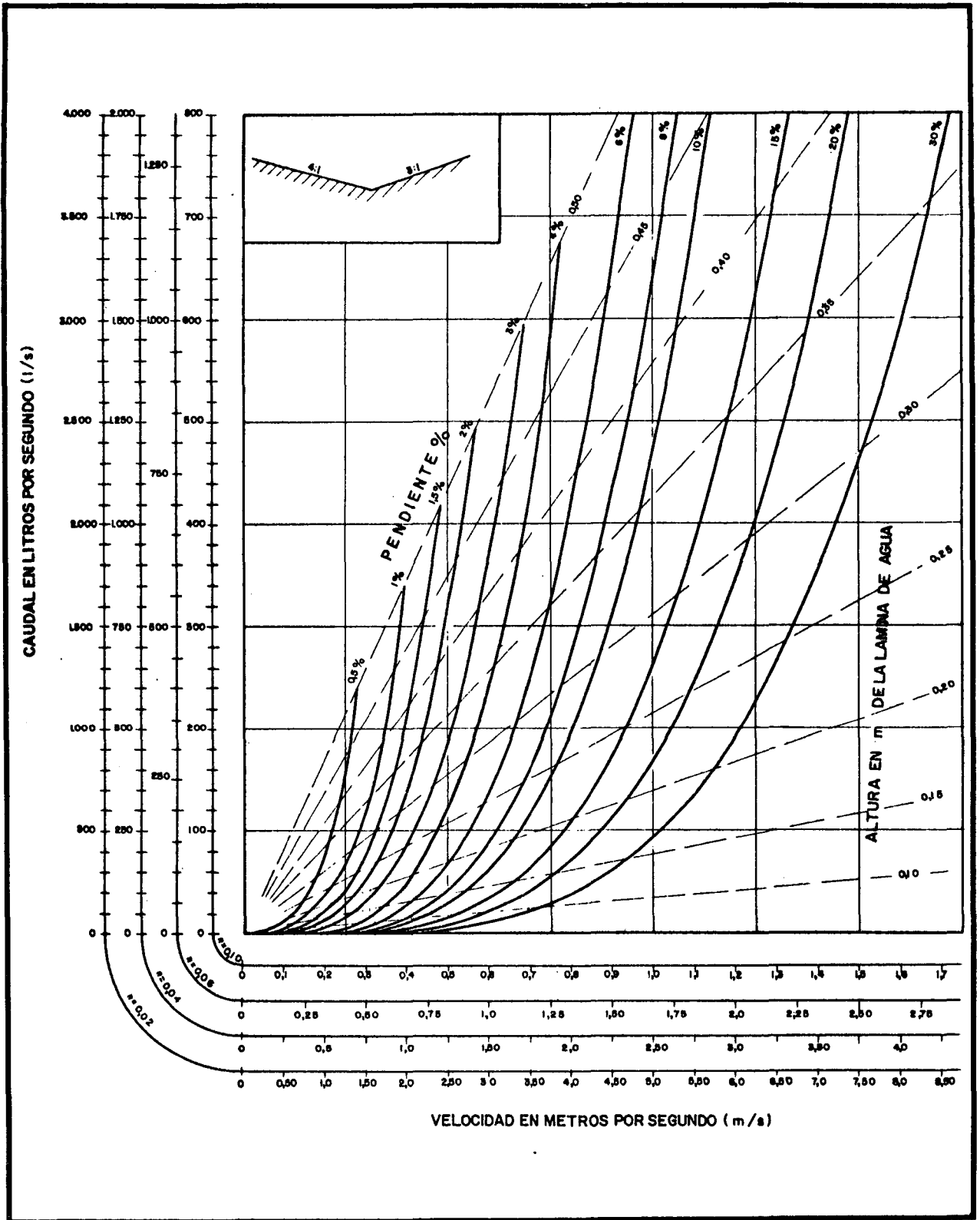


Figura 5.2.1.2 b

5.1 - IC.

CALCULO HIDRAULICO DE CUNETAS

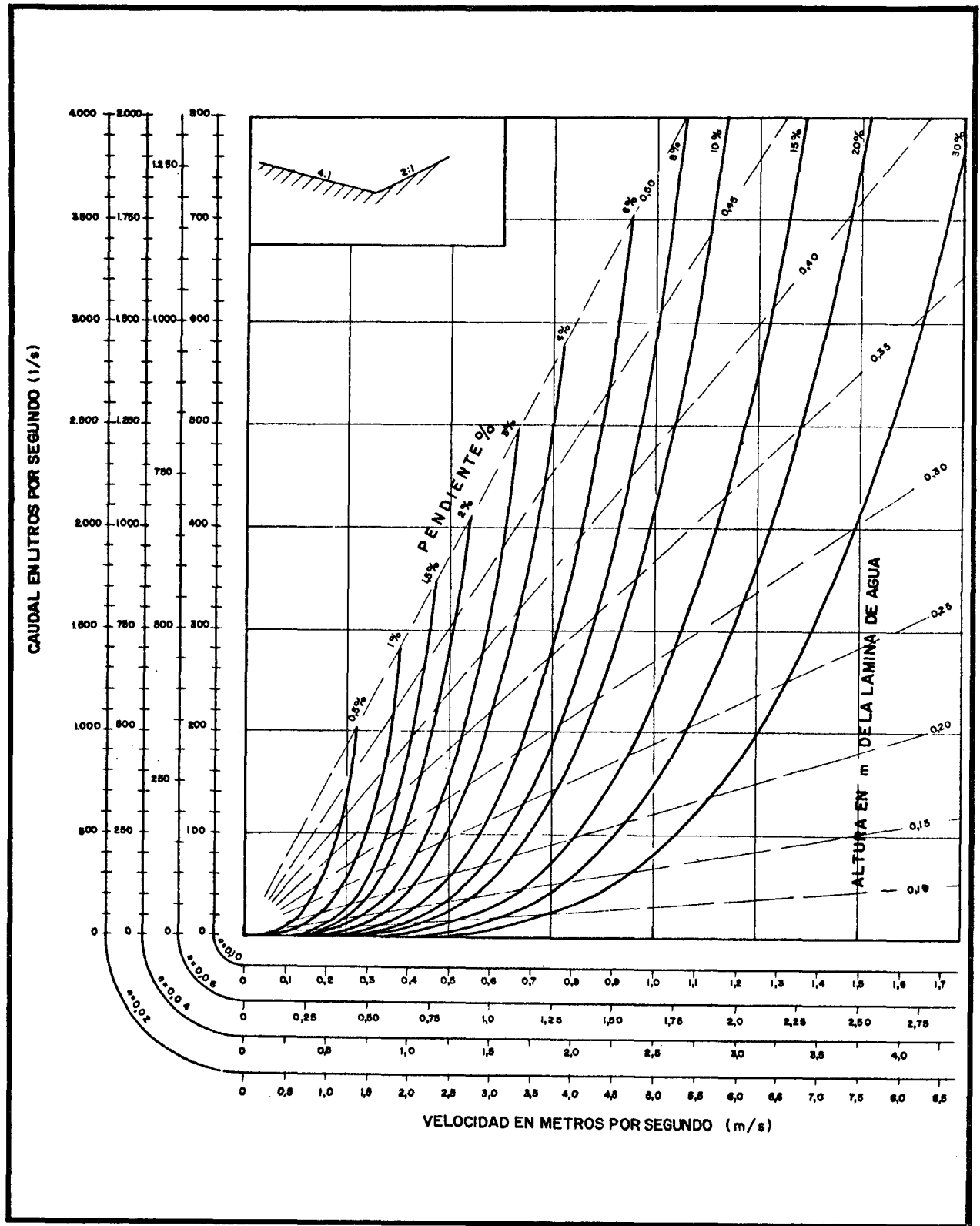


Figura 5.2.1.2 c

5.1 - IC.

CALCULO HIDRAULICO DE CUNETAS

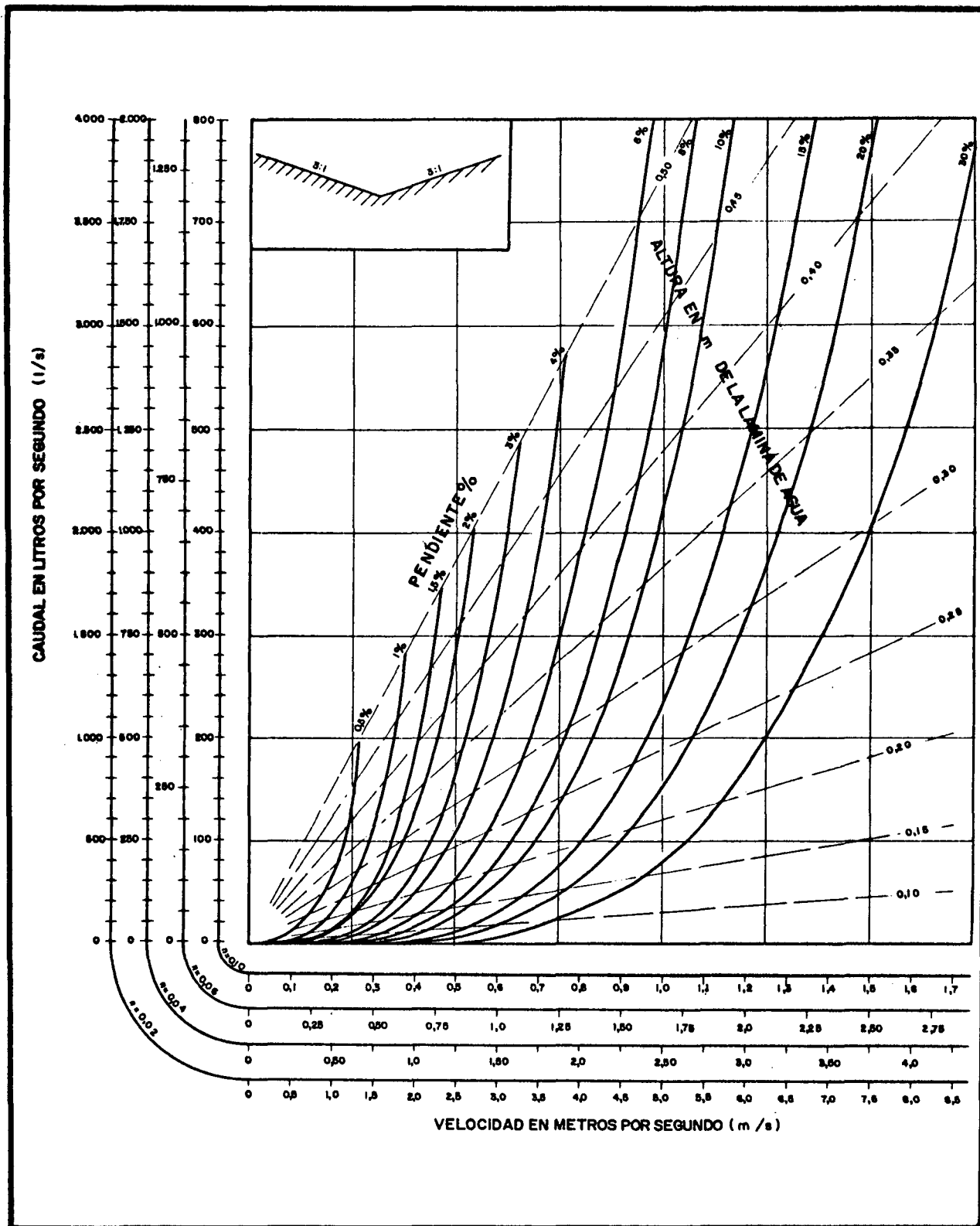


Figura 5.2.1.2 d



5.1 - IC..

CALCULO HIDRAULICO DE CUNETAS

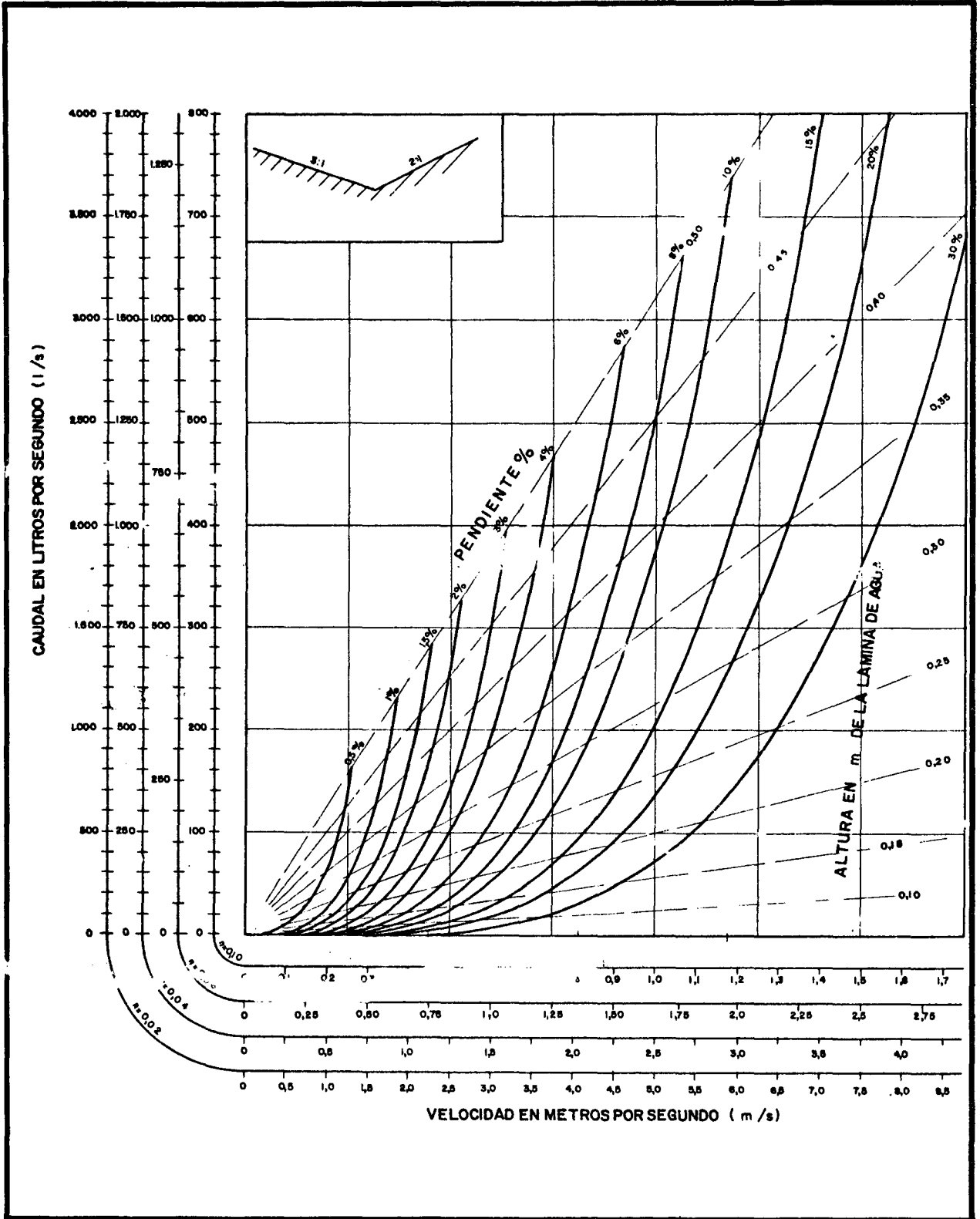


Figura 5.2.1.2 e

5.1 - IC.

CALCULO HIDRAULICO DE CUNETAS

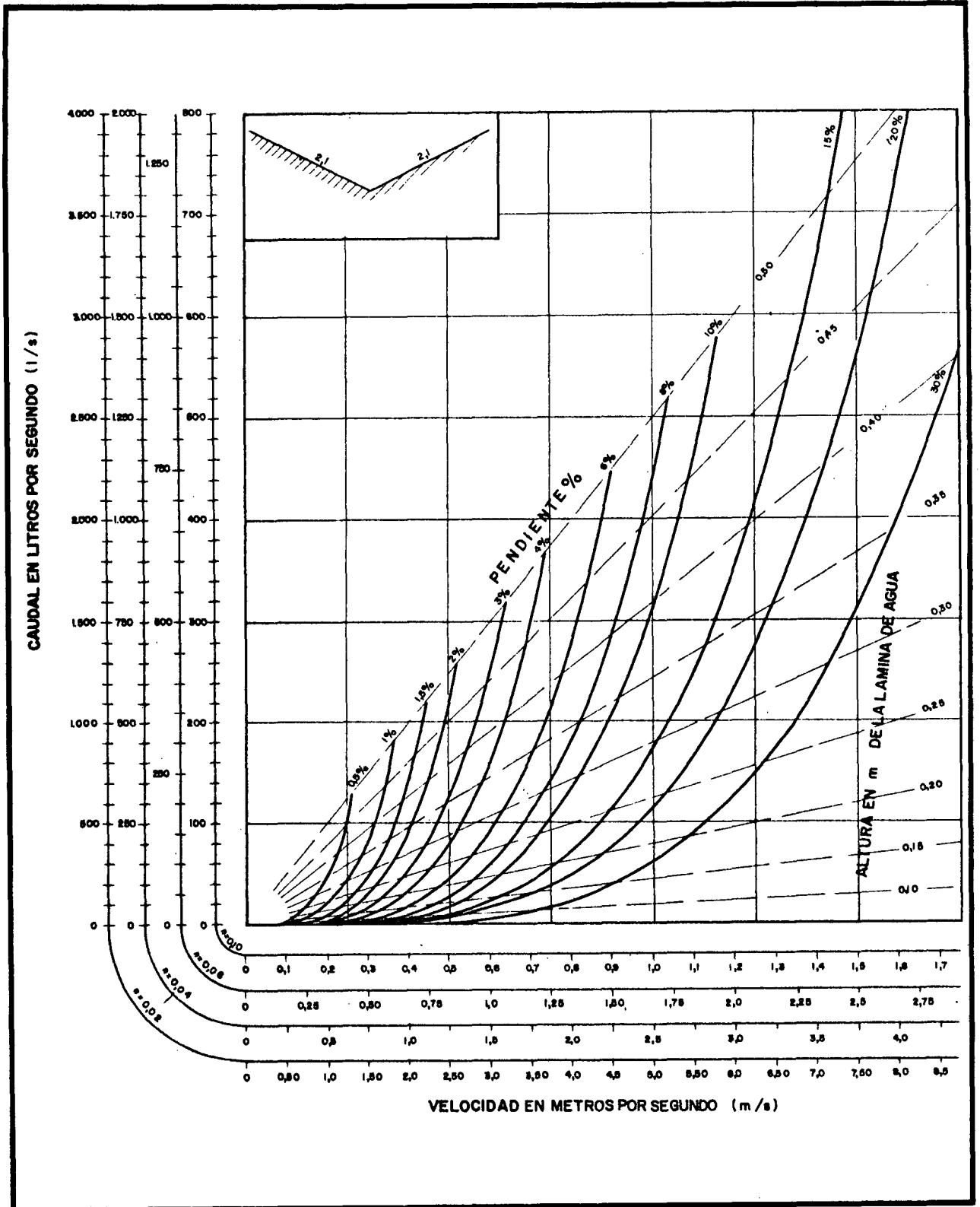


Figura 5.2.1.2 f

5.1 - IC.

CALCULO HIDRAULICO DE CUNETAS

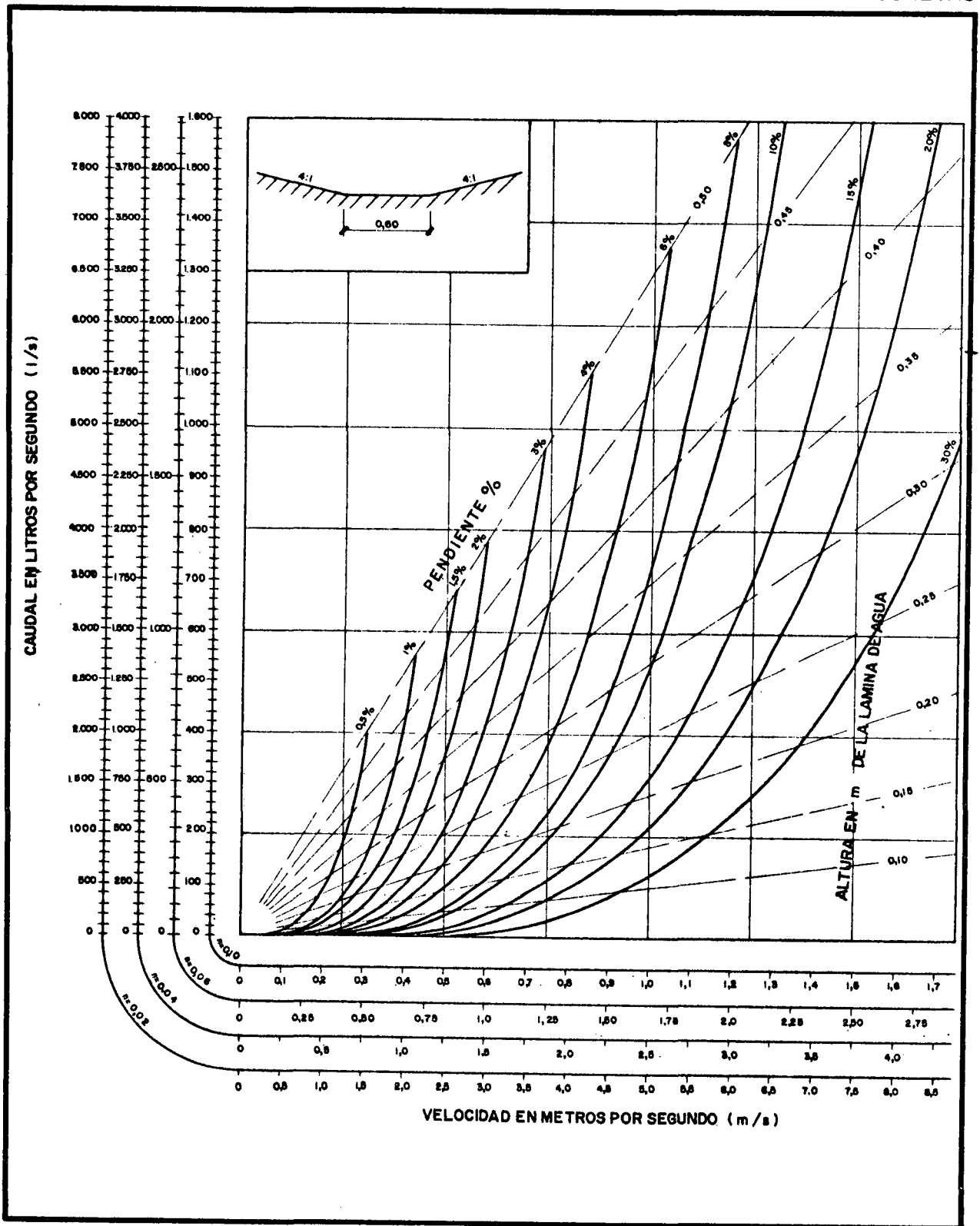


Figura 5.2.1.2.g

5.1 - IC.

CALCULO HIDRAULICO DE CUNETAS

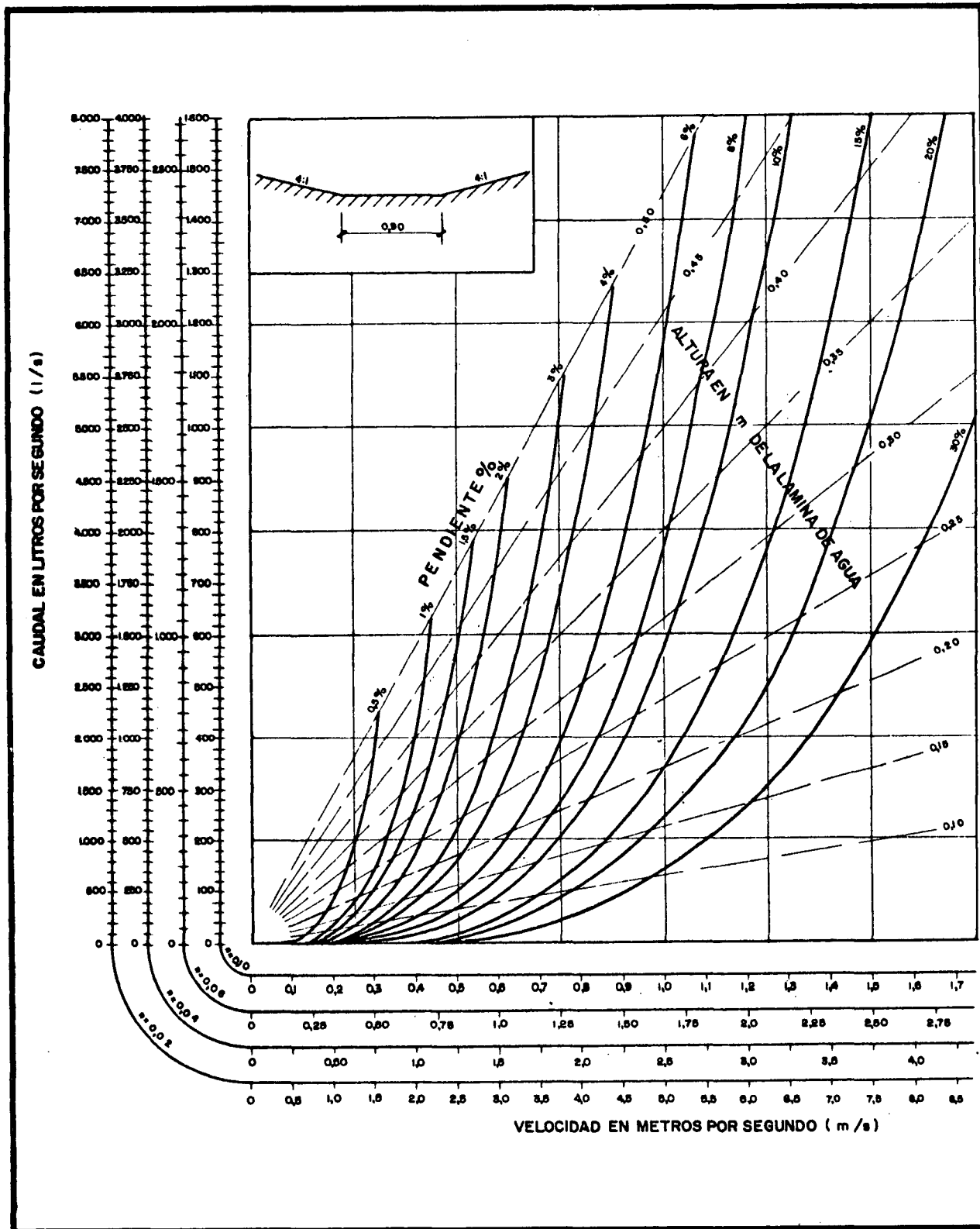


Figura 5.2.1.2.h

5.1 - IC.

CALCULO HIDRAULICO DE CUNETAS

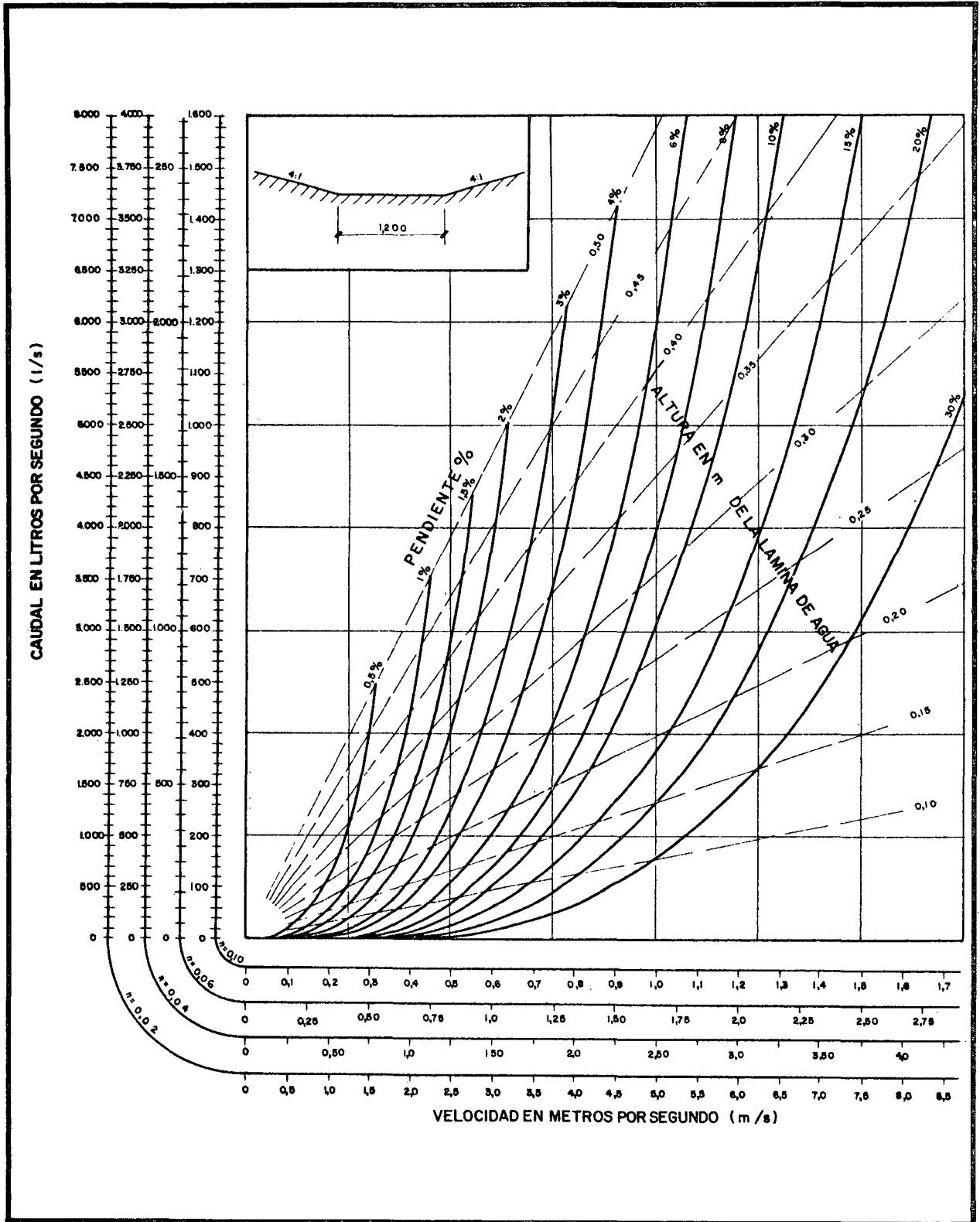


Figura 5.2.1.2.i

5.1 - IC.

CALCULO HIDRAULICO DE CUNETAS

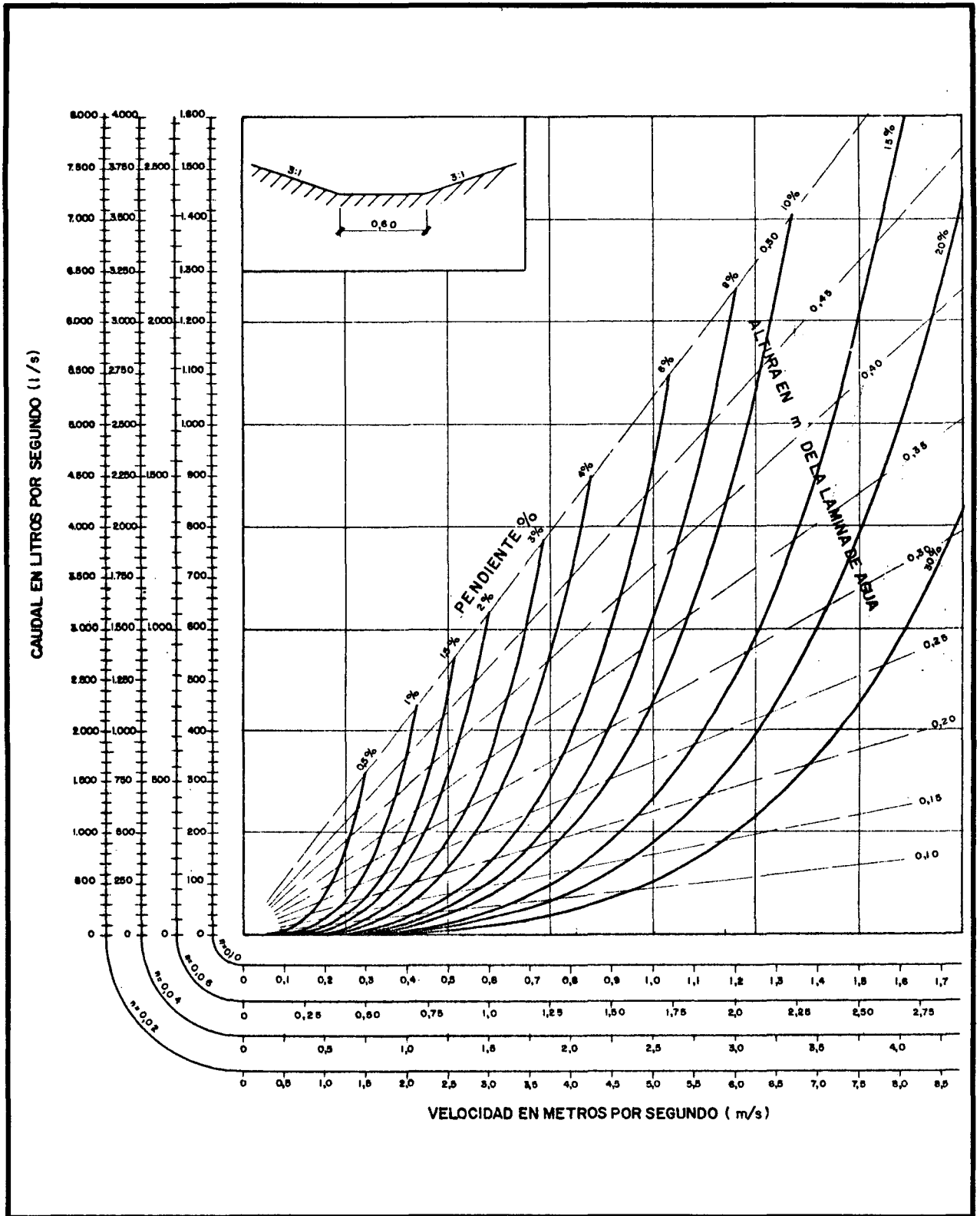


Figura 5.2.1.2.j

5.1 - IC.

CALCULO HIDRAULICO DE CUNETAS

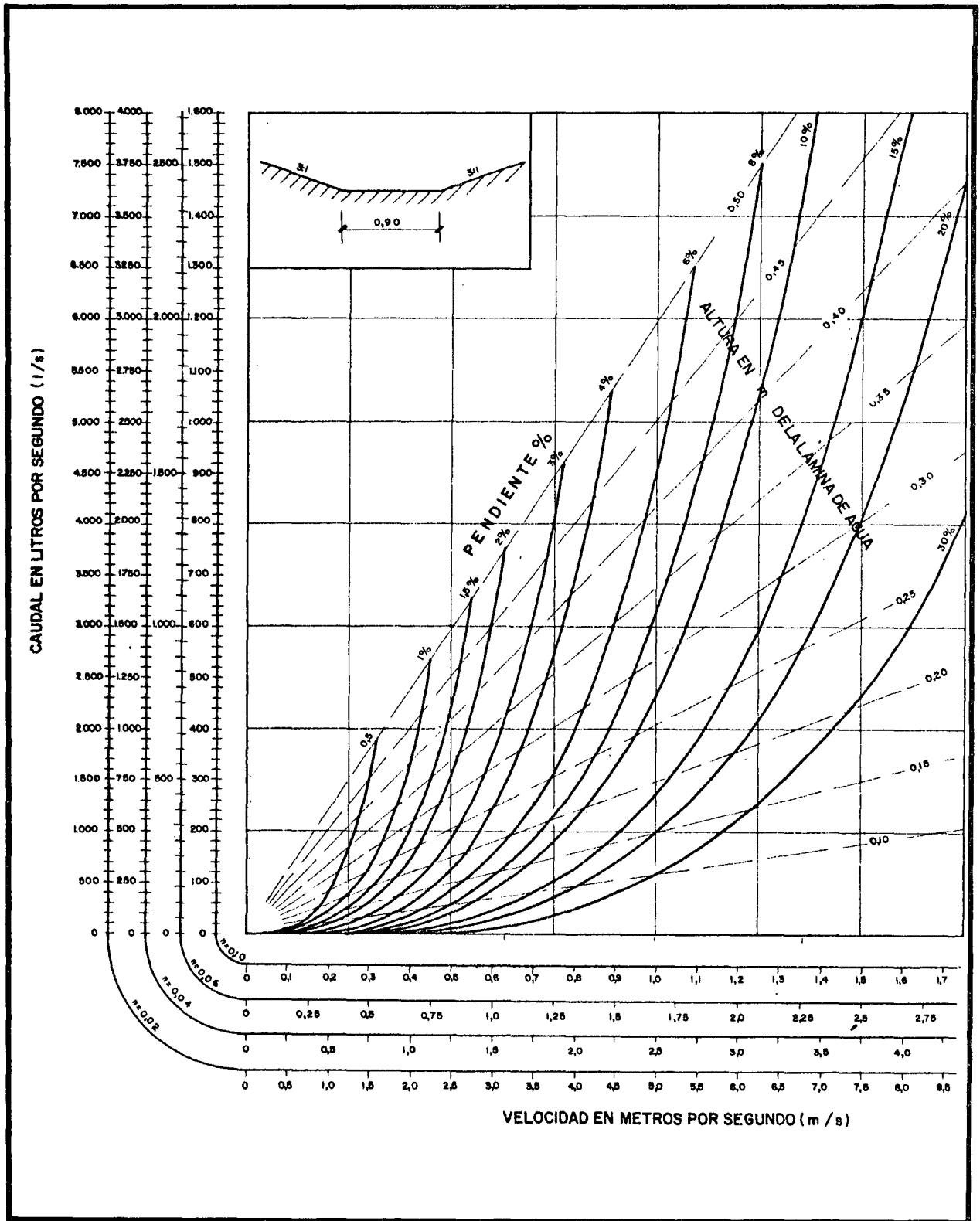


Figura 5.2.12 k

5.1 - IC.

CALCULO HIDRAULICO DE CUNETAS

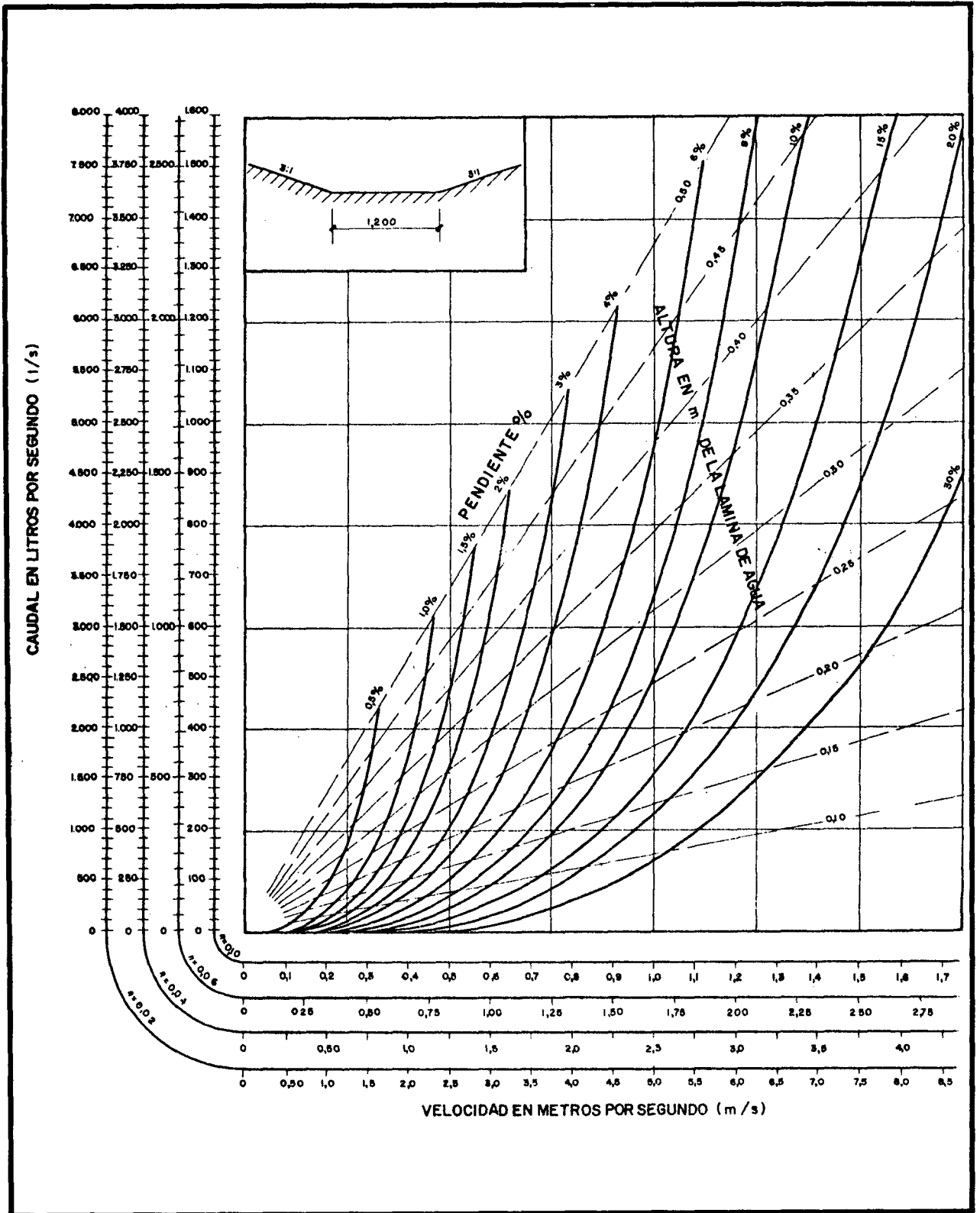


Figura 5.2.1.2.1



5.1 - IC.

CALCULO HIDRAULICO DE CUNETAS

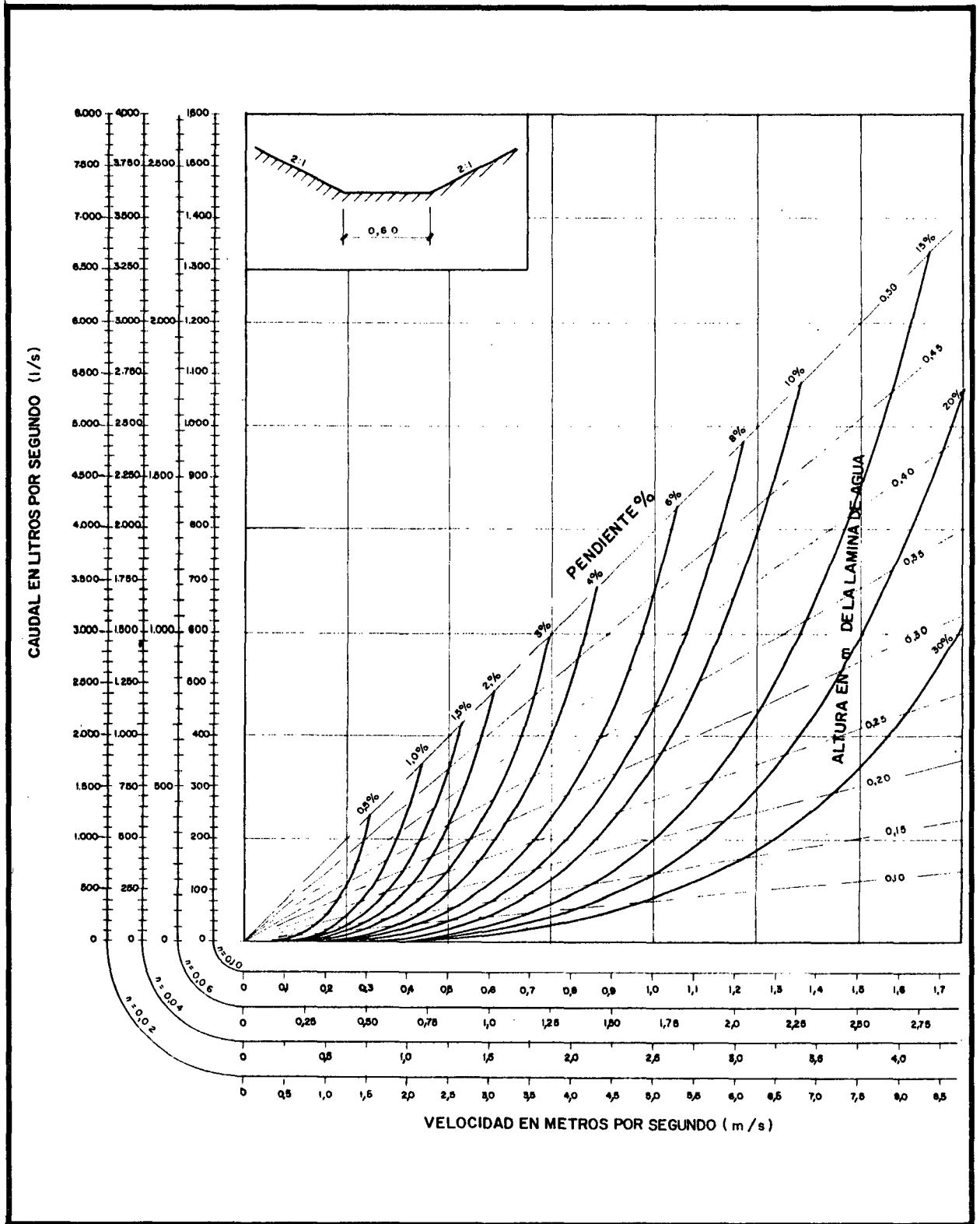


Figura 5.2.1. 2 m.

5.1 - IC.

CALCULO HIDRAULICO DE CUNETAS

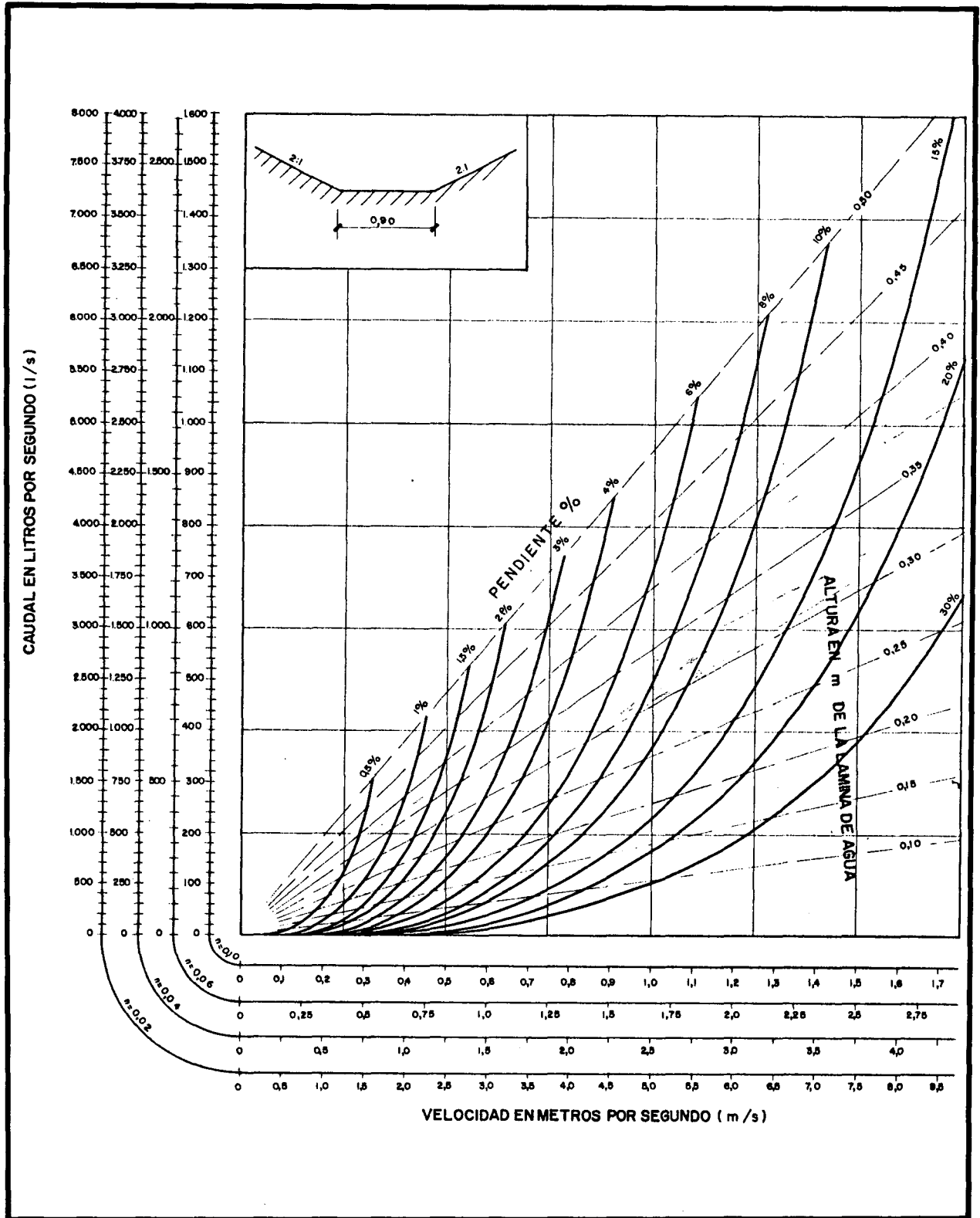


Figura 5.2.1.2.n

5.1 - IC.

CALCULO HIDRAULICO DE CUNETAS

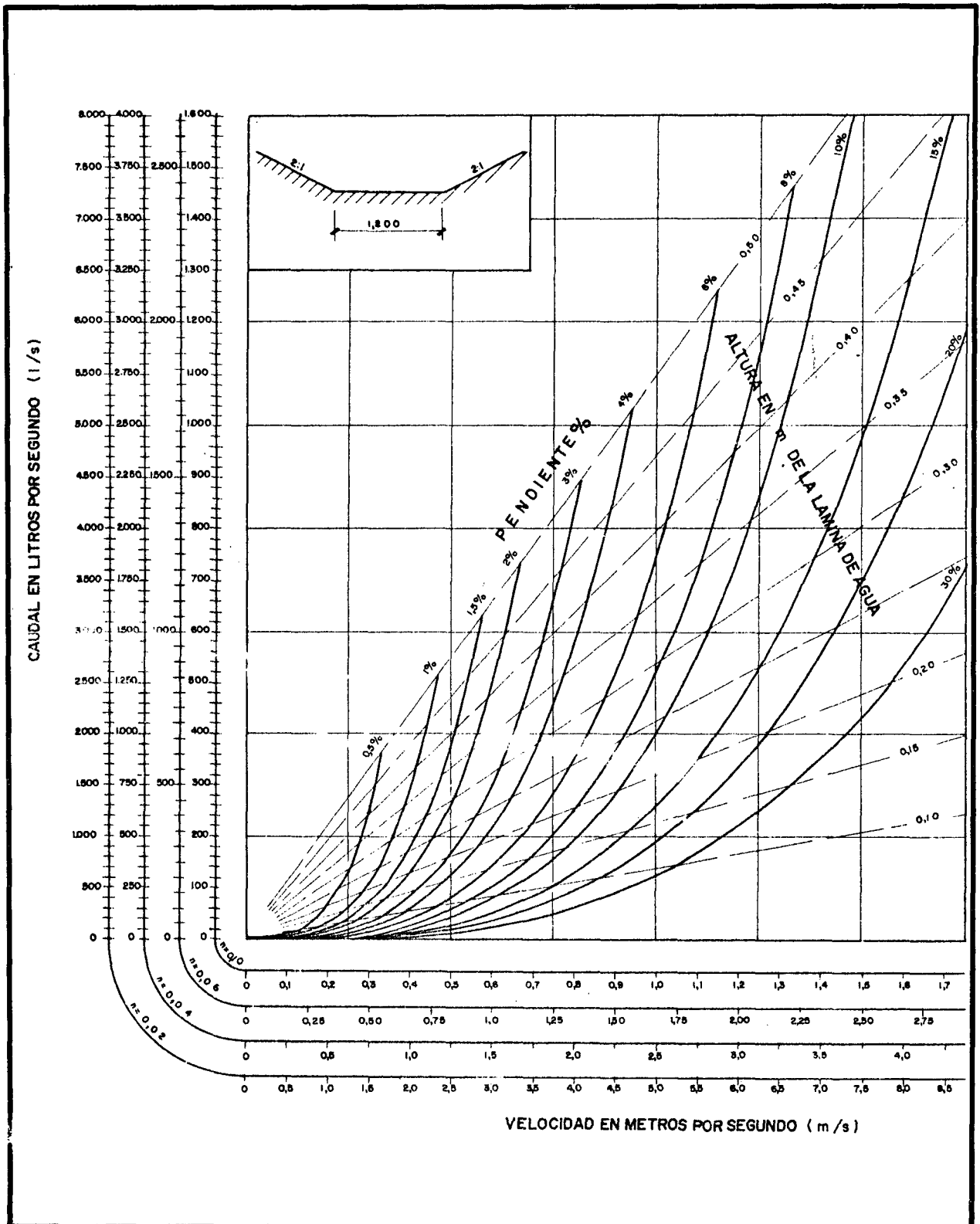


Figura 5.2.1.2.d

5.1 - IC.

CALCULO HIDRAULICO DE CUNETAS

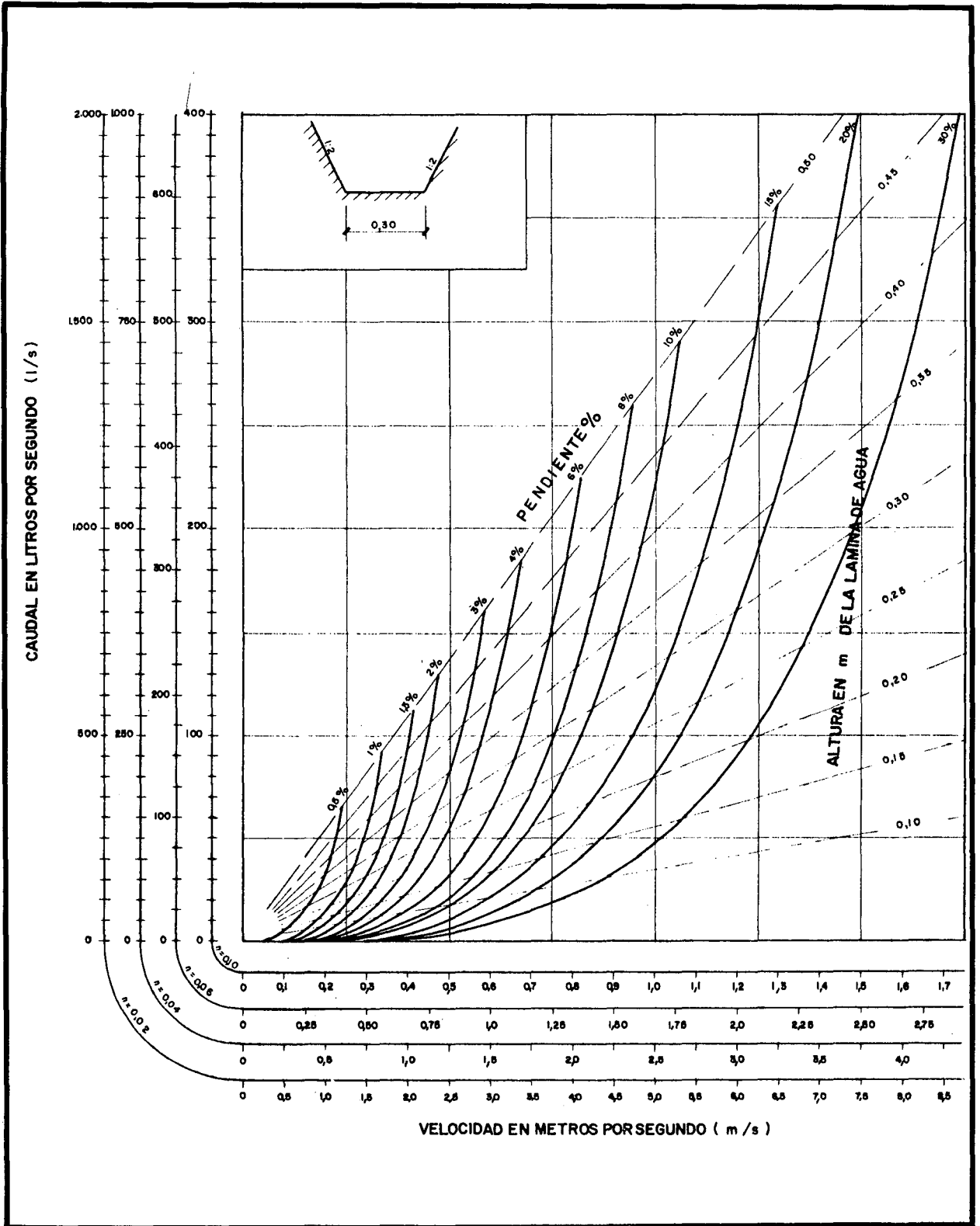
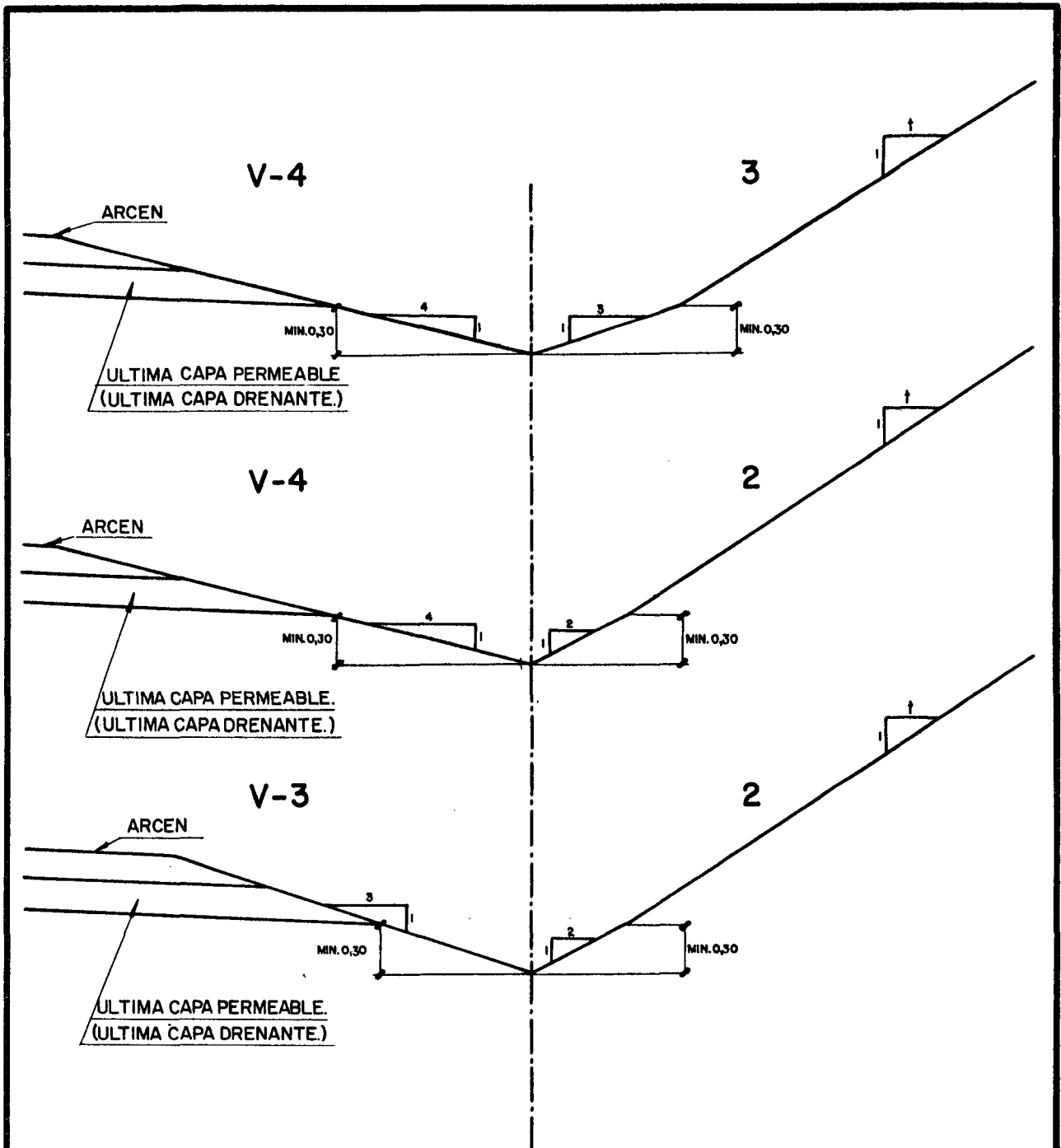


Figura 5.2.1.2.p

5.1 - IC.

CUNETAS TRIANGULARES



NOTAS:

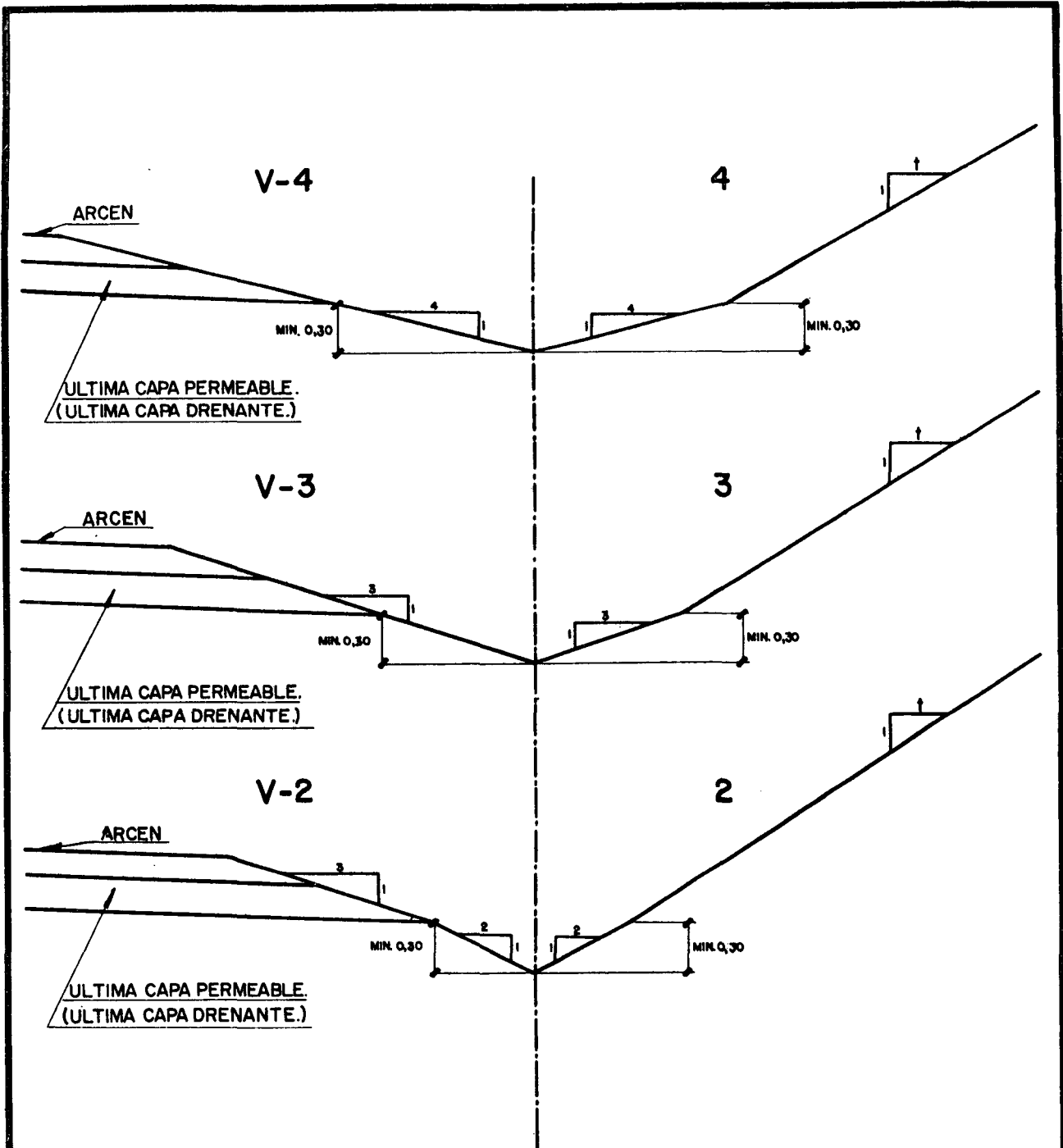
- 1- COTAS EN METROS.
- 2- "Y" VARIABLE SEGUN TERRENO.
- 3- REDONDEAR LOS PUNTOS ANGULOSOS CON RADIO 1,50 m.

COMBINACIONES		
(1)	(2)	(3)
V-4-3	V-4-2	V-3-2

Figura 5.2.1.3.a

5.1 - IC.

CUNETAS TRIANGULARES



ULTIMA CAPA PERMEABLE.  
(ULTIMA CAPA DRENANTE.)

ULTIMA CAPA PERMEABLE.  
(ULTIMA CAPA DRENANTE.)

ULTIMA CAPA PERMEABLE.  
(ULTIMA CAPA DRENANTE.)

NOTAS:

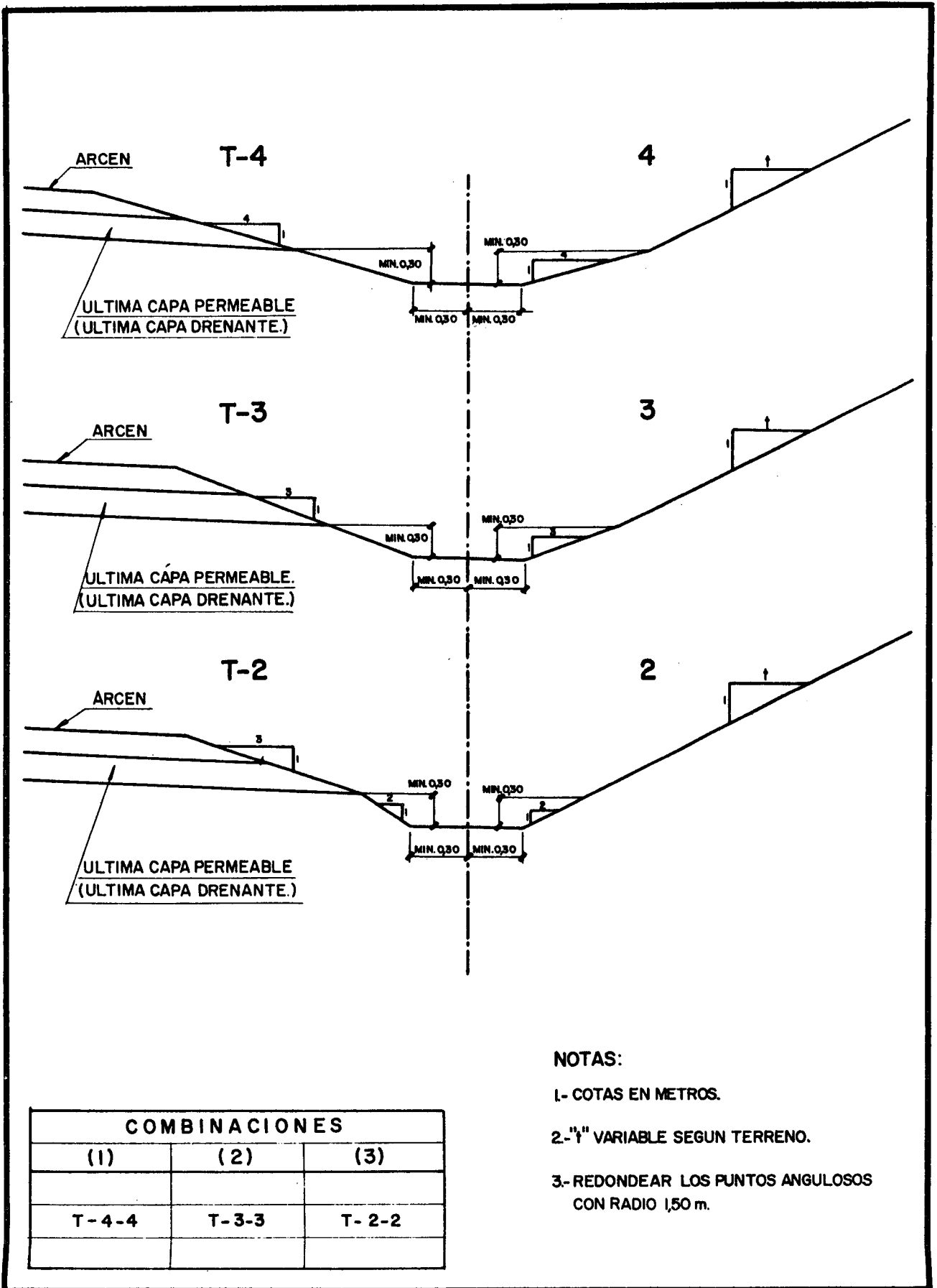
- 1.- COTAS EN METROS.
- 2.- "1" VARIABLE SEGUN TERRENO.
- 3.- REDONDEAR LOS PUNTOS ANGULOSOS CON RADIO 150 m.

COMBINACIONES		
(1)	(2)	(3)
V-4-4	V-3-3	V-2-2

Figura 5.2.1.3.a

5.1 - IC.

CUNETAS TRAPECIALES



NOTAS:

1- COTAS EN METROS.

2- "1" VARIABLE SEGUN TERRENO.

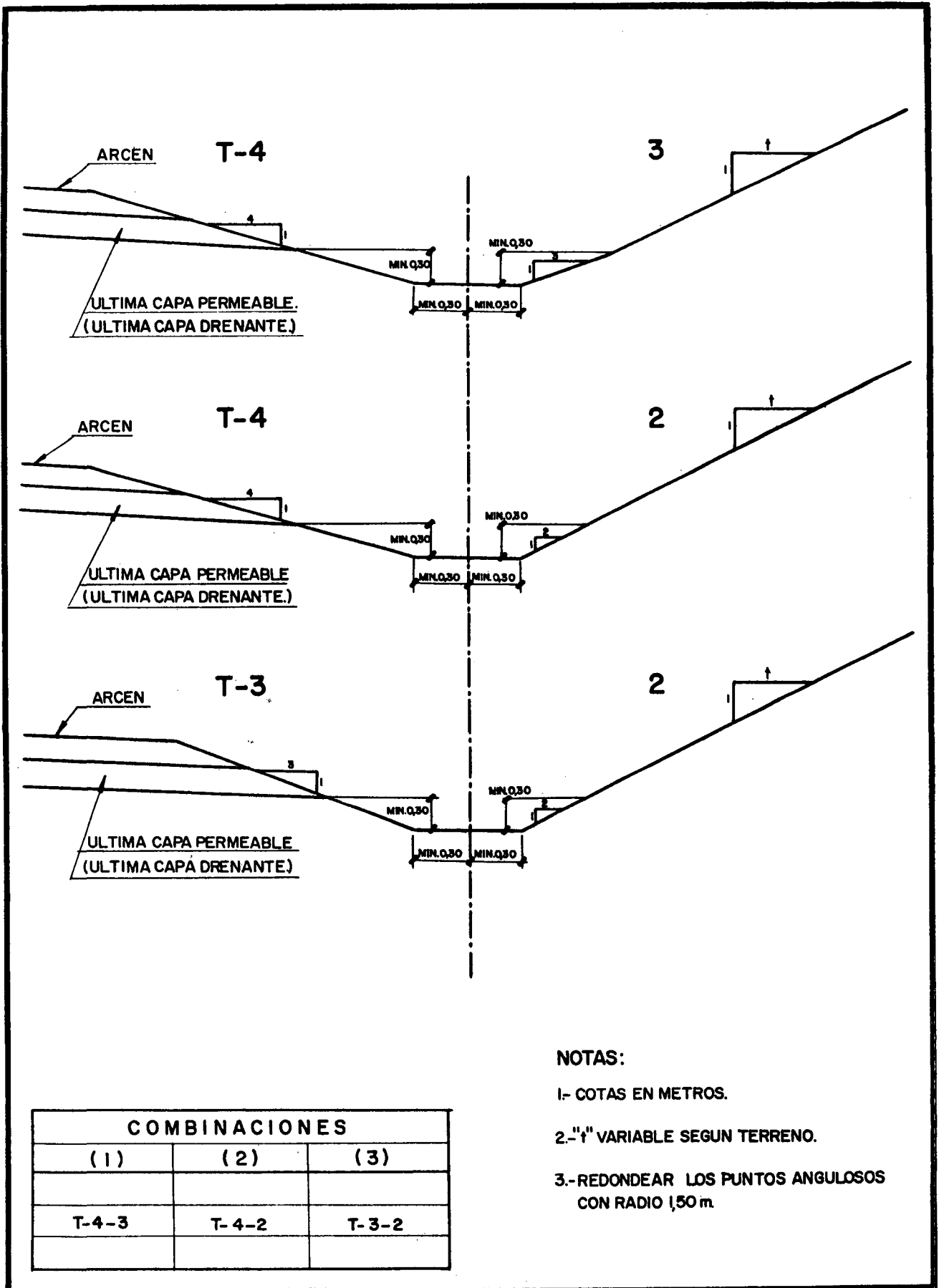
3- REDONDEAR LOS PUNTOS ANGULOSOS CON RADIO 1,50 m.

COMBINACIONES		
(1)	(2)	(3)
T-4-4	T-3-3	T-2-2

Figura 5.2.1.3.b

5.1 - IC.

CUNETAS TRAPECIALES



NOTAS:

1.- COTAS EN METROS.

2.- "1" VARIABLE SEGUN TERRENO.

3.- REDONDEAR LOS PUNTOS ANGULOSOS CON RADIO 1,50 m.

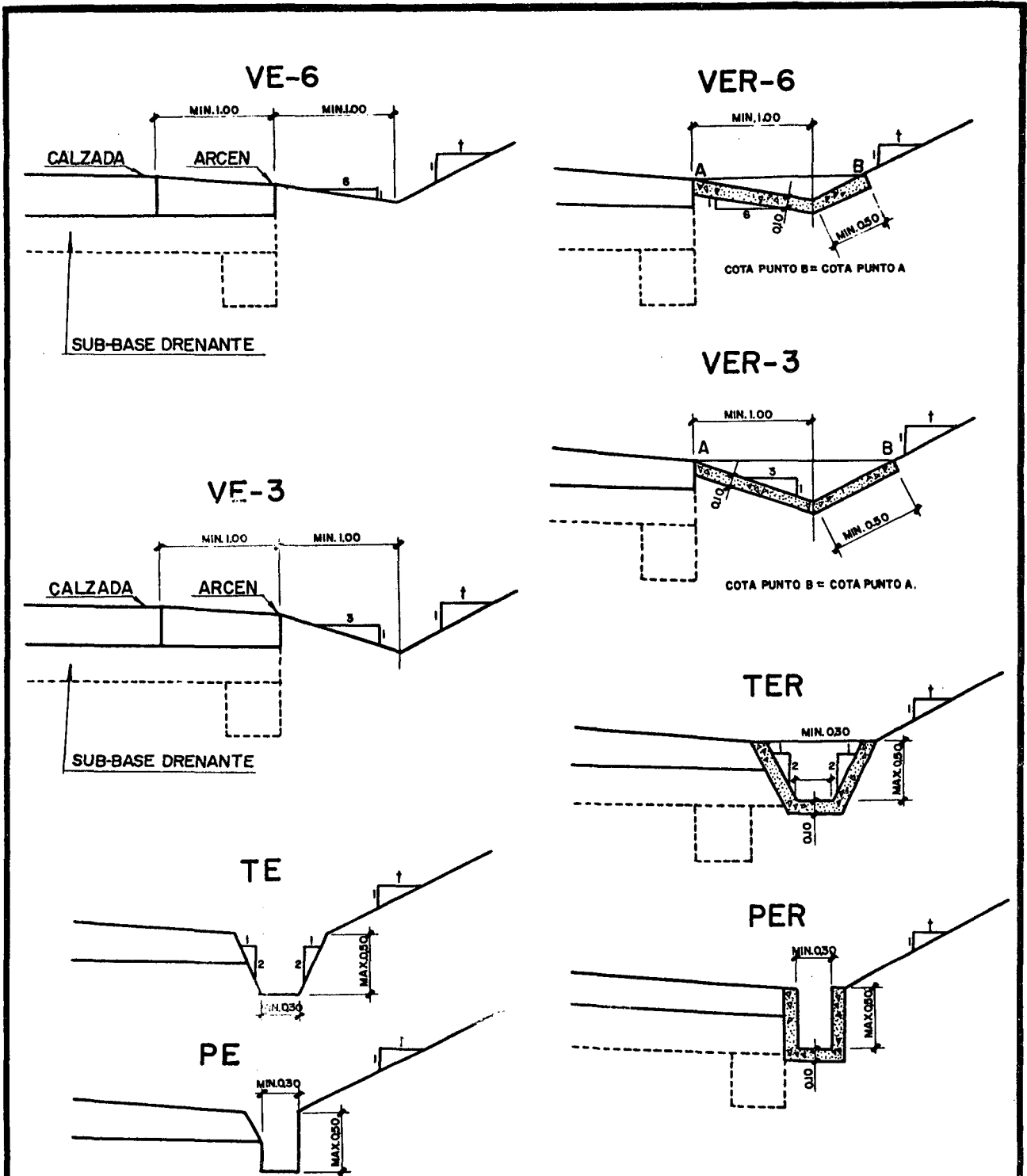
COMBINACIONES		
(1)	(2)	(3)
T-4-3	T-4-2	T-3-2

Figura 5.2.1.3. b



5.1 - IC.

CUNETAS REDUCIDAS



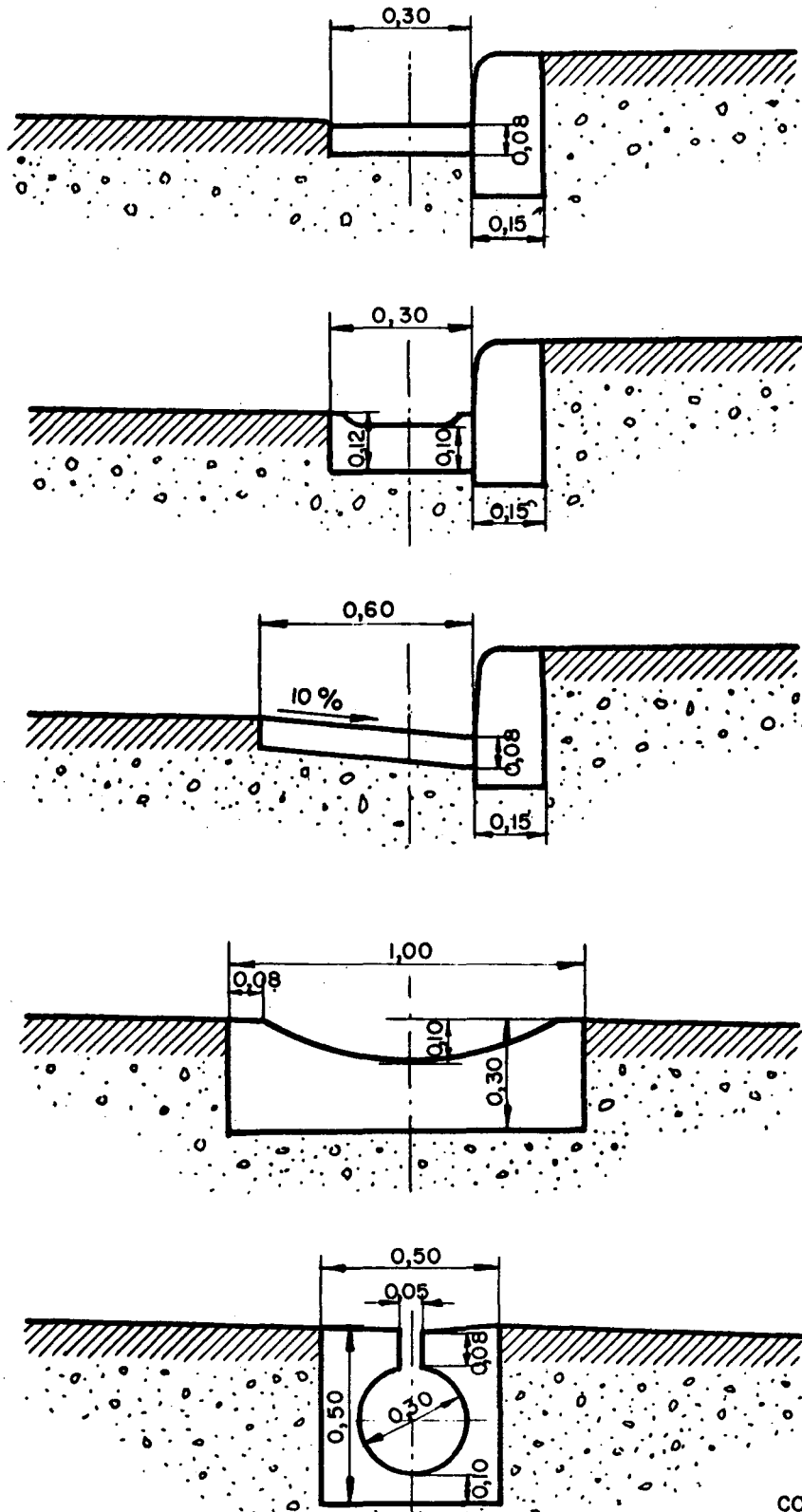
NOTAS:

1. COTAS EN METROS.
2. "t" SEGUN TERRENO.
3. LOS TIPOS VE, VER, TER, Y PER, PODRAN UTILIZARSE CON SUB-BASE Y ZANJA DE DRENAJE O SIN ELLAS.
4. LOS TIPOS TE Y PE, SOLO PODRAN UTILIZARSE SIN SUB-BASE Y ZANJA DE DRENAJE.
5. SI EL REVESTIMIENTO SE HACE CON PLACAS PREFABRICADAS, SE ASENTARAN SOBRE CAPA DE ARENA DE UNOS 5cm DE ESPESOR.

Figura 5.2.1.3.c

5.1 - IC.

CACES

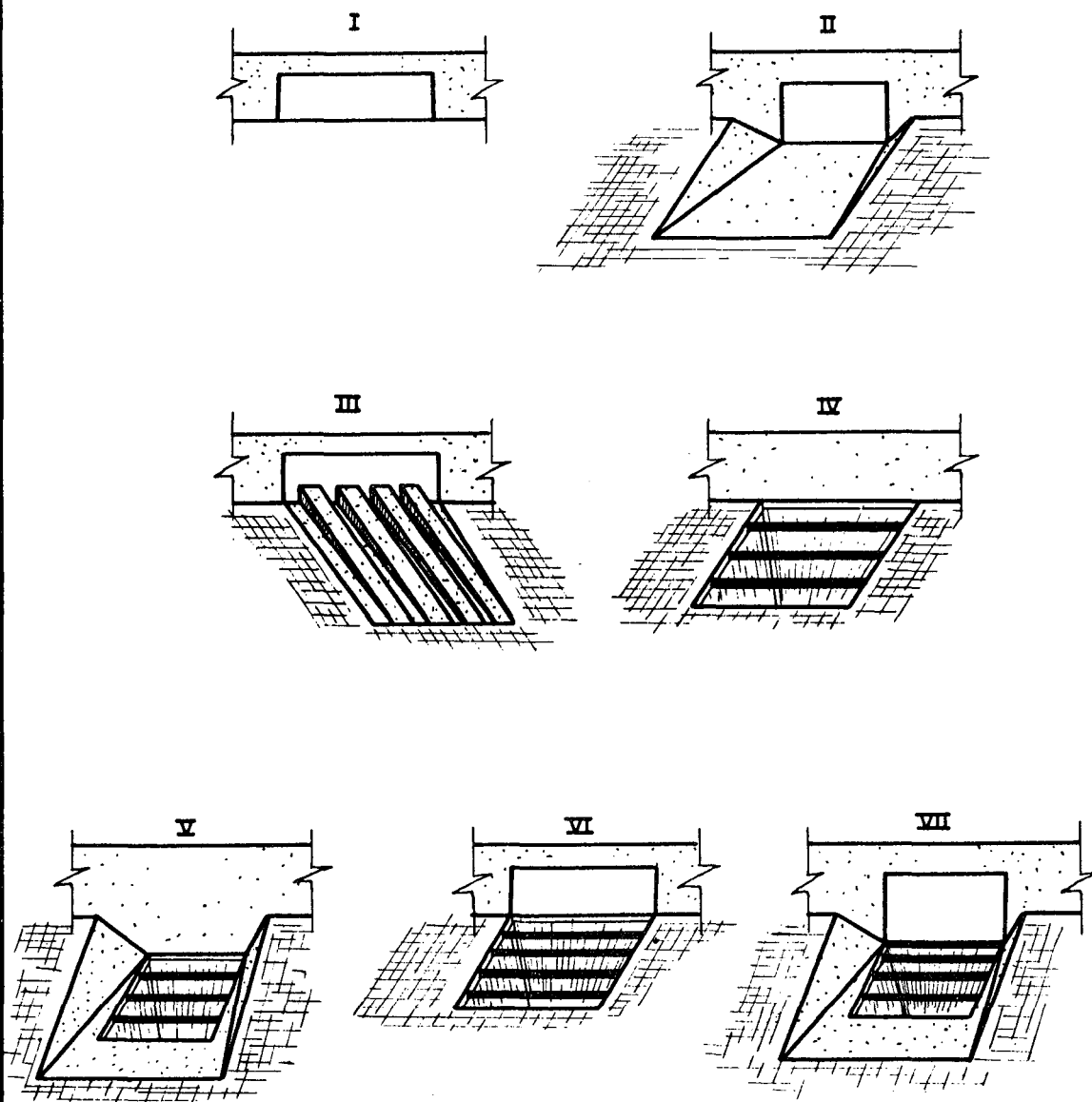


COTAS EN METROS

Figura 5.2.2

5.1 - IC.

SUMIDEROS



**I·II·III** .- Laterales en bordillo.

**IV·V** .- Horizontales.

**VI·VII** .- Mixtos.

Figura 5.2.3.a

5.1 - IC.

SUMIDEROS

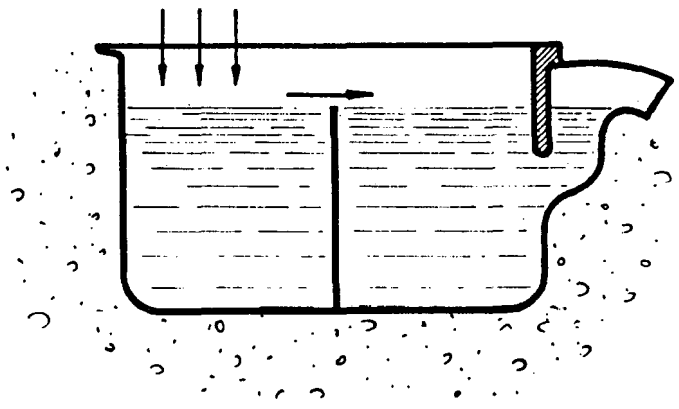
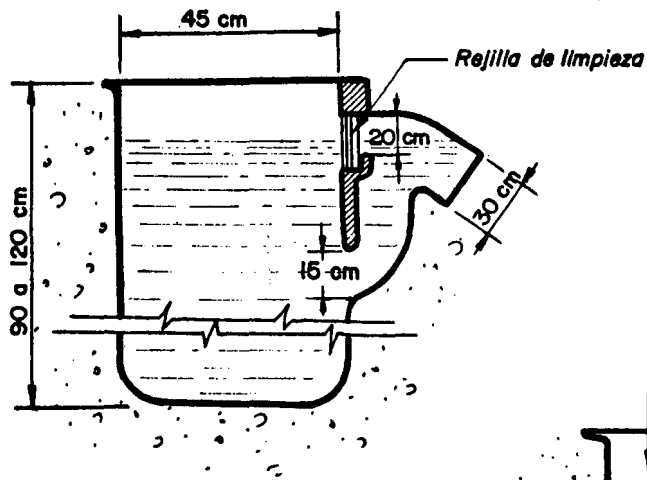
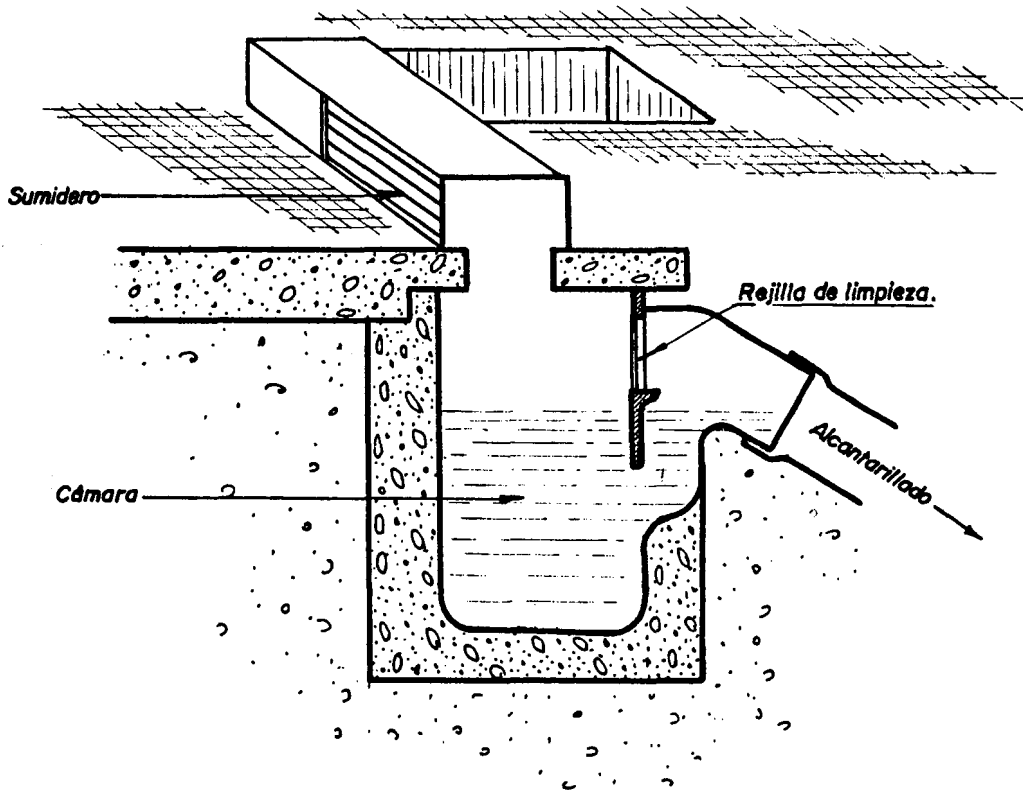
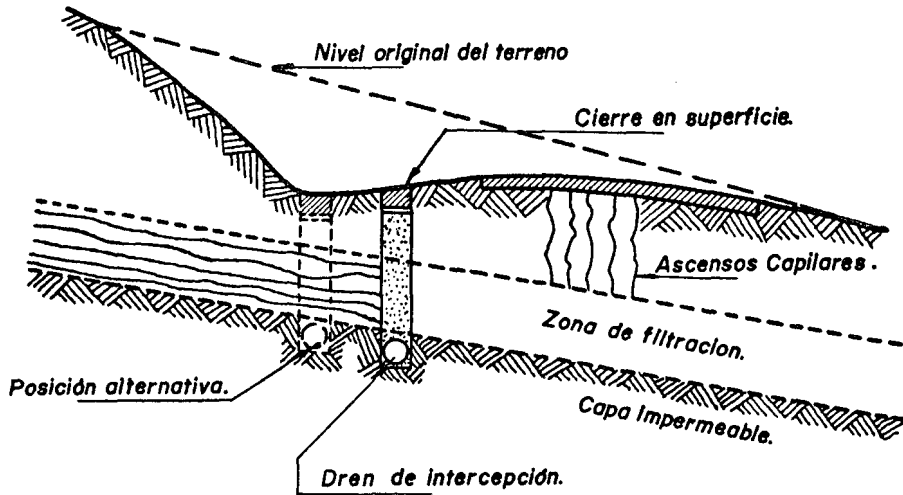


Figura 5.2.3.b

4.1 - IC.

DRENAJE SUBTERRANEO



DREN DE INTERCEPCION.-

Fig. 6.1.a

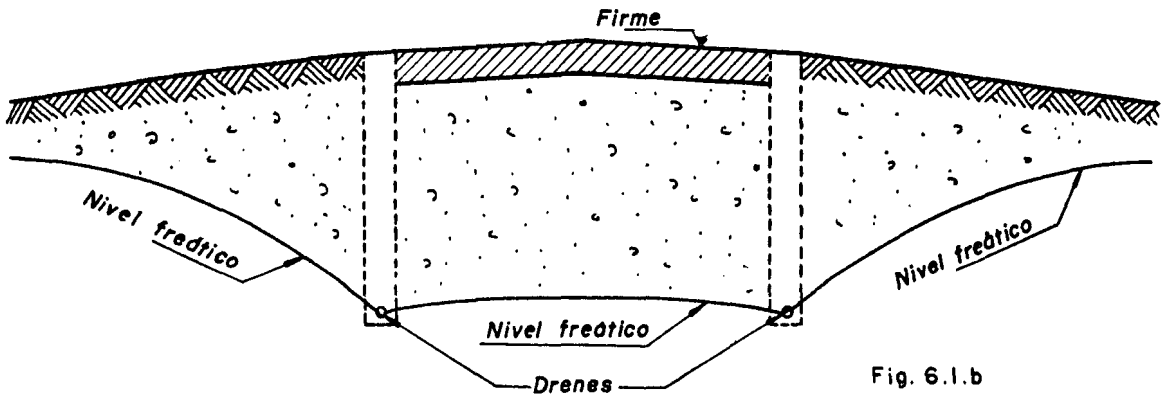


Fig. 6.1.b

DRENES PARA REBAJAR EL NIVEL FREATICO.-

Figura 6.1

5.1 - IC.

DRENES SUBTERRANEOS

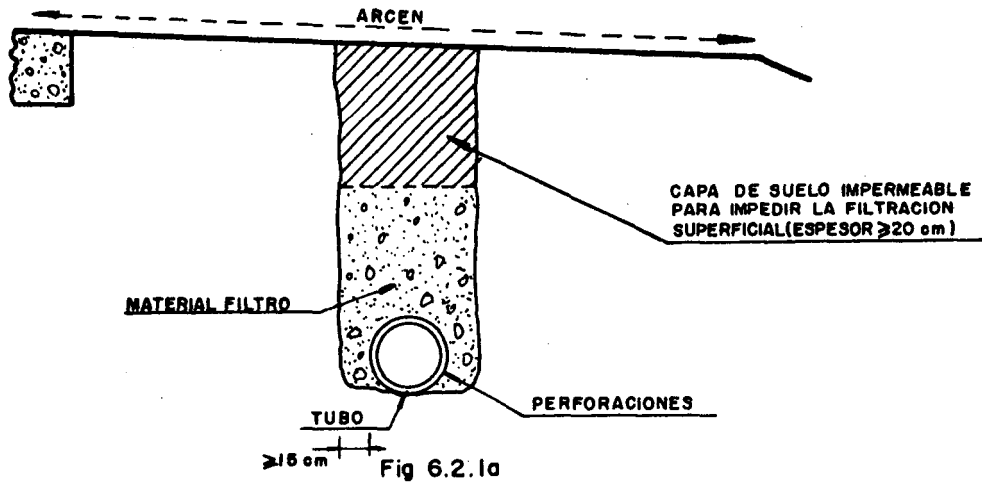


Fig 6.2.1a

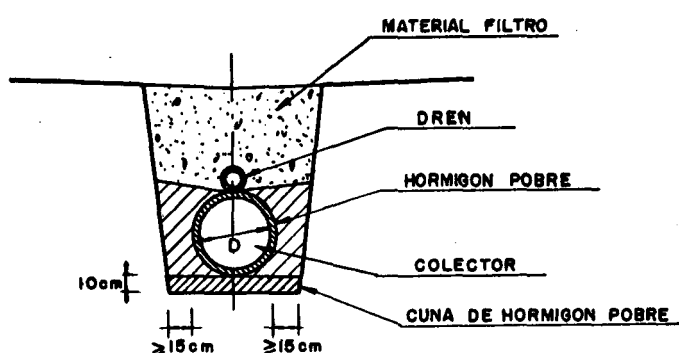


Fig 6.2.1b

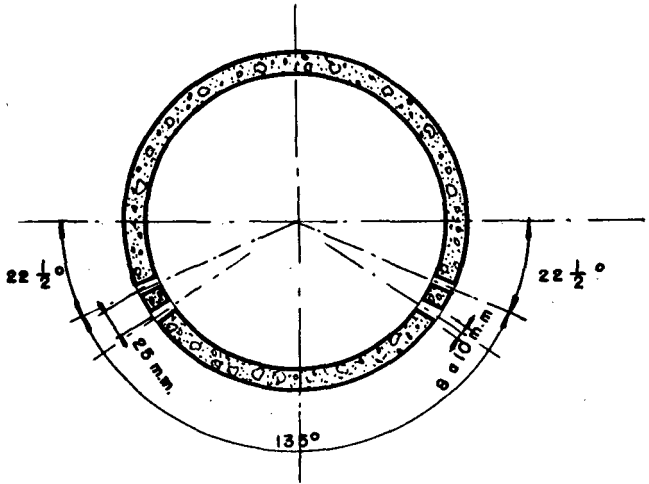
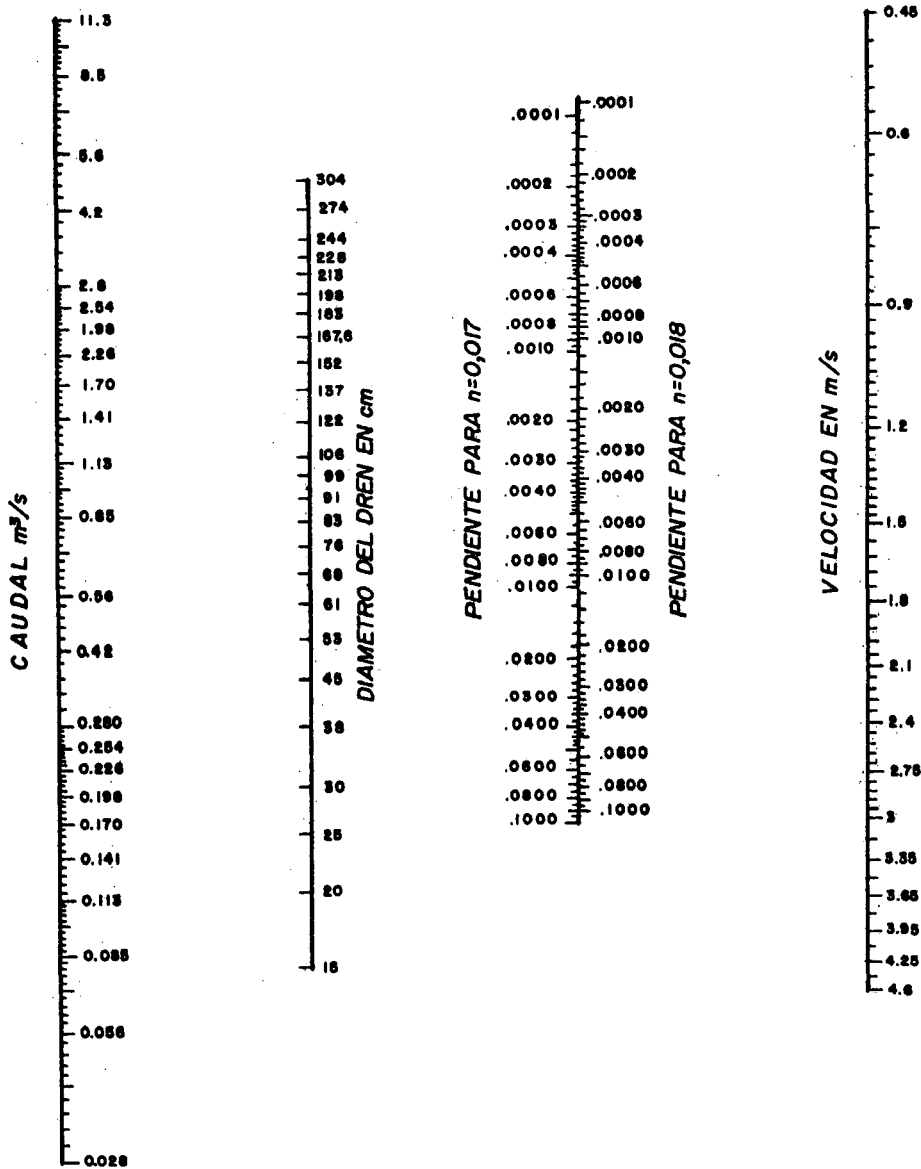


Fig. 6.2.2.1

5.1 - IC.

CALCULO HIDRAULICO DE TUBOS



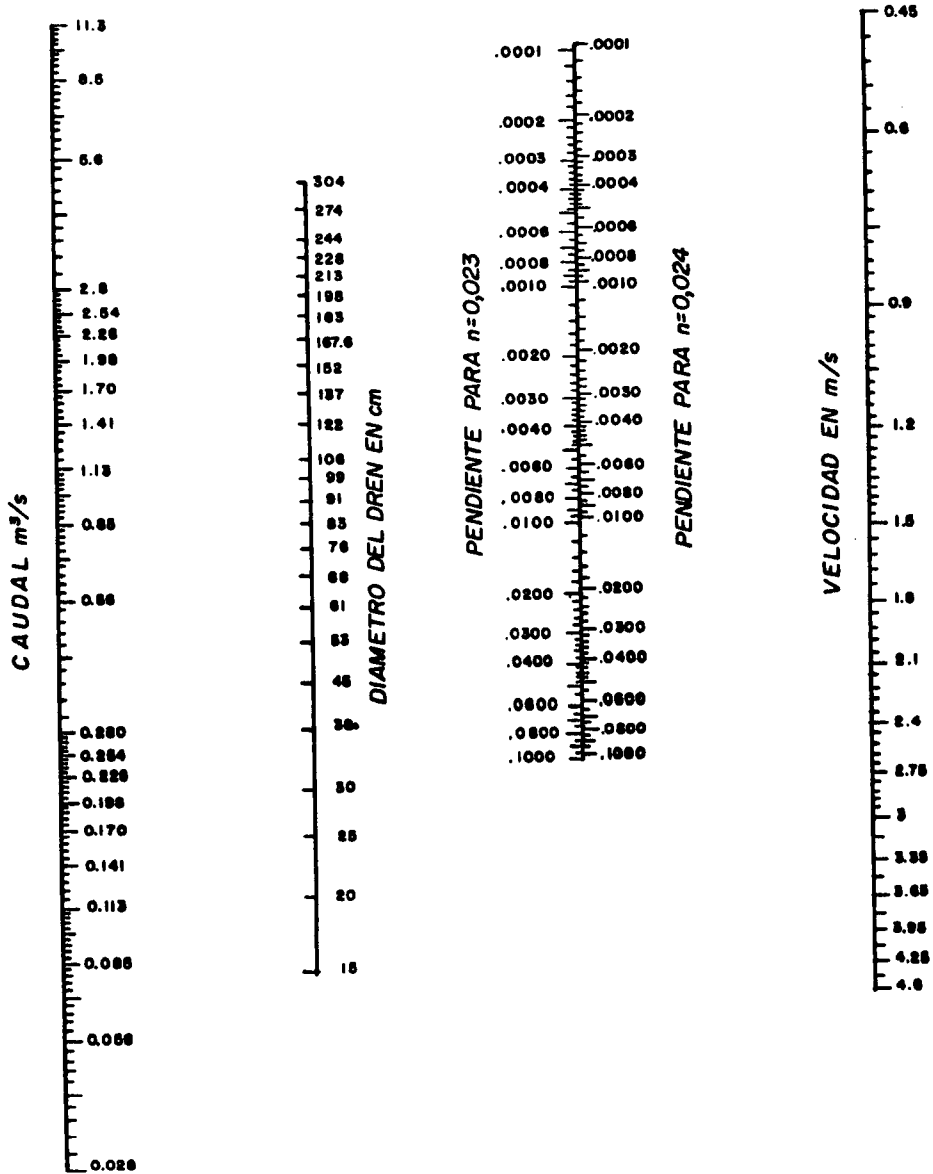
ABACO PARA LA DETERMINACION DEL DIAMETRO DE TUBOS CIRCULARES CON EL AGUA LLENANDO TODA LA SECCION.-

$n = 0,017$   
 $n = 0,018$

Figura 6.2.2.3.a

5.1 - IC.

CALCULO HIDRAULICO DE TUBOS



ABACO PARA LA DETERMINACION DEL DIAMETRO DE TUBOS CIRCULARES CON EL AGUA LLENANDO TODA LA SECCION.-

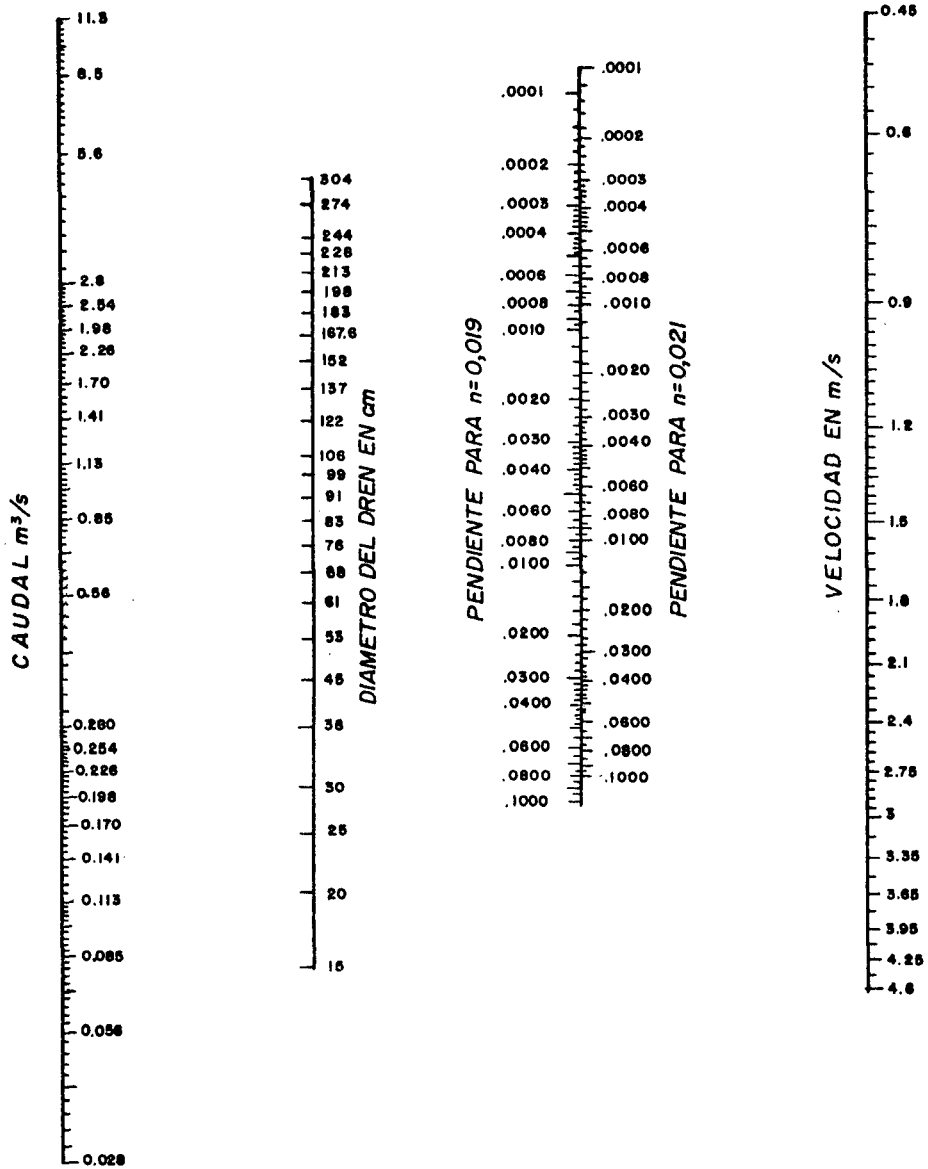
$n = 0,023$   
 $n = 0,024$

Figura 6.2.2.3.b



5.1 - IC.

CALCULO HIDRAULICO DE TUBOS



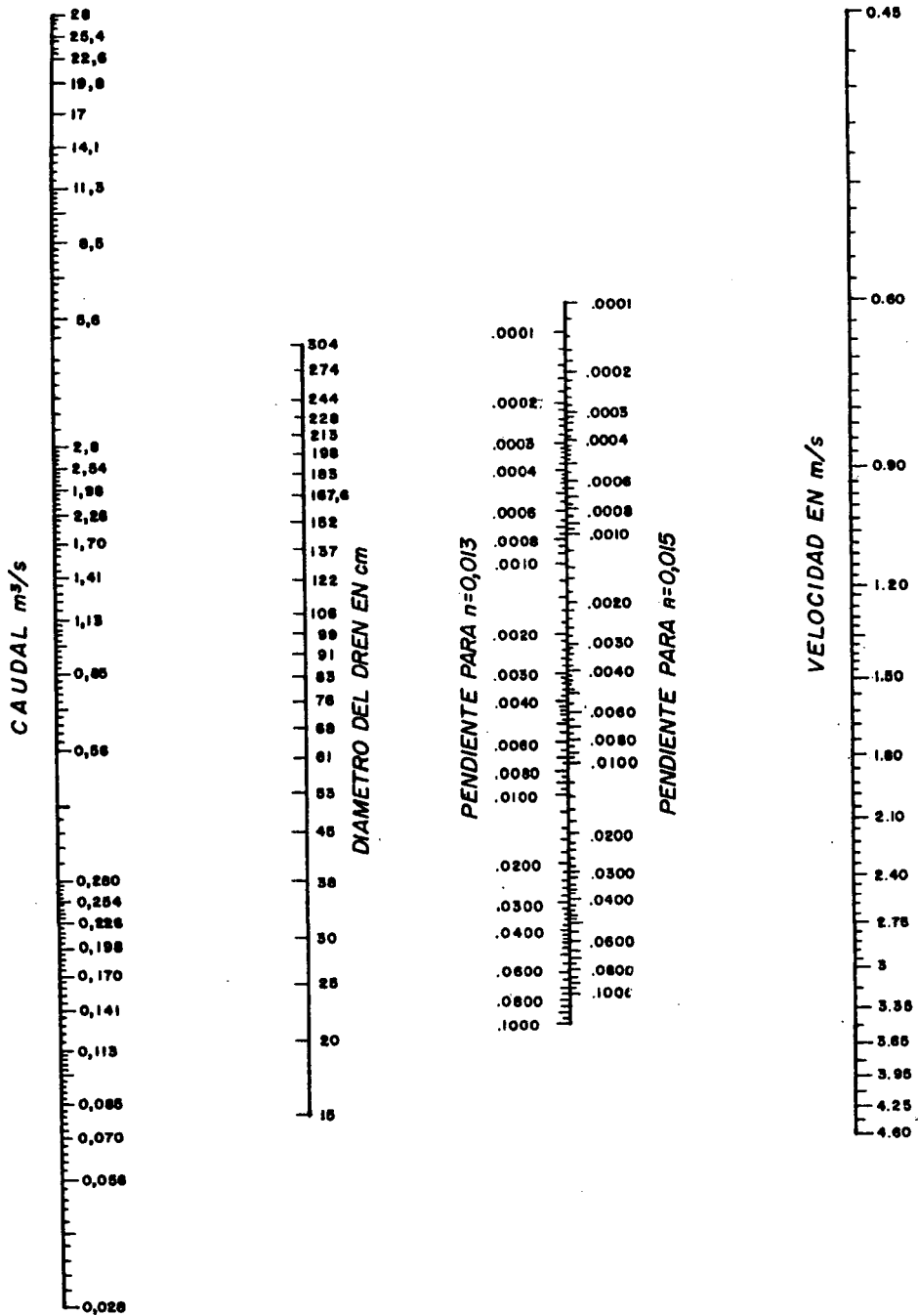
ABACO PARA LA DETERMINACION DEL DIAMETRO DE TUBOS CIRCULARES CON EL AGUA LLENANDO TODA LA SECCION.-

n = 0,019  
n = 0,021

Figura 6.2.2.3.c

5.1 - IC.

CALCULO HIDRAULICO DE TUBOS



ABACO PARA LA DETERMINACION DEL DIAMETRO DE TUBOS CIRCULARES CON EL AGUA LLENANDO TODA LA SECCION.-

n = 0,013  
n = 0,015

Figura 6.2.2.3.d

5.1 - IC.

RELLENO DE ZANJAS DE DRENAJE

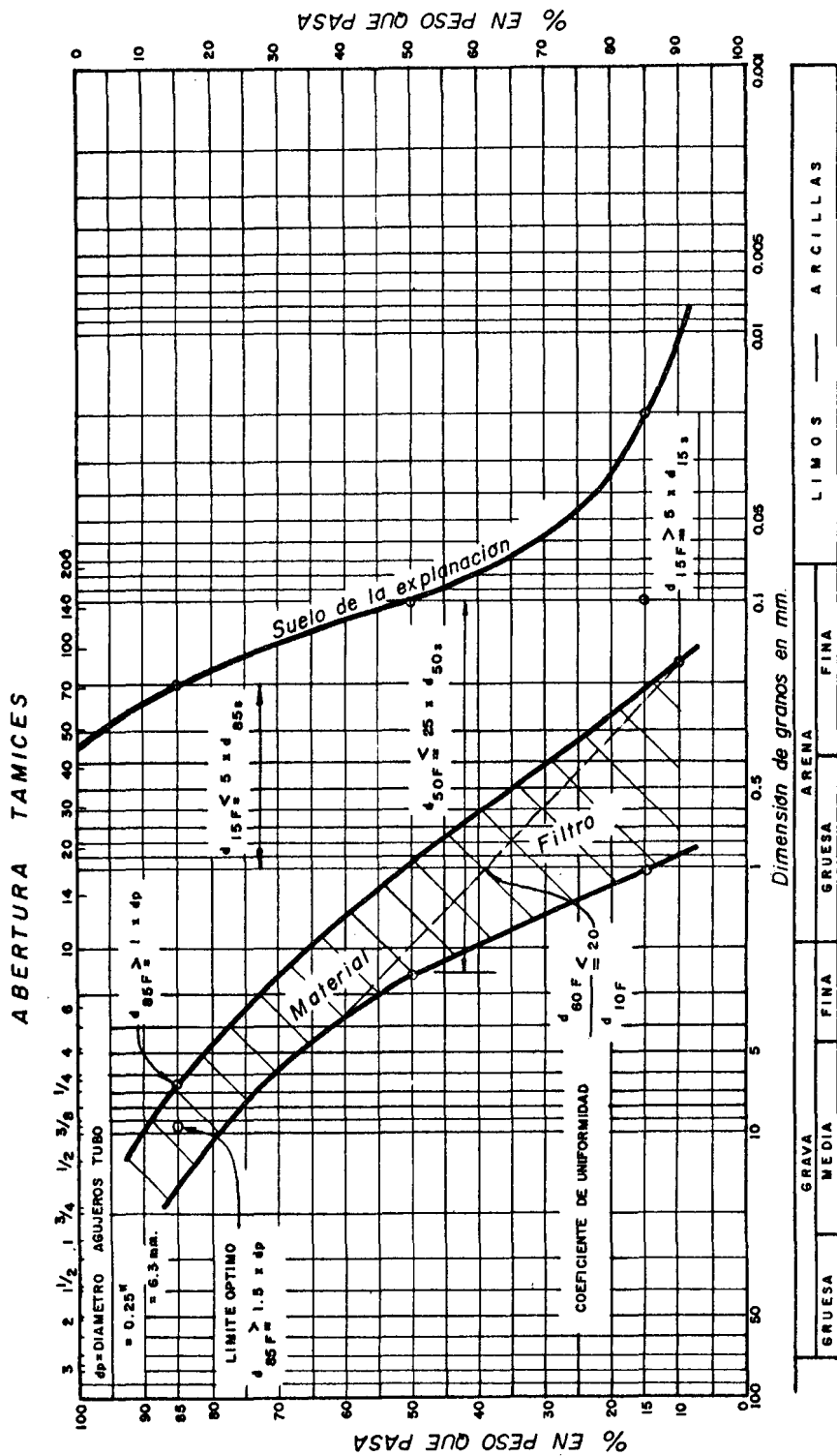
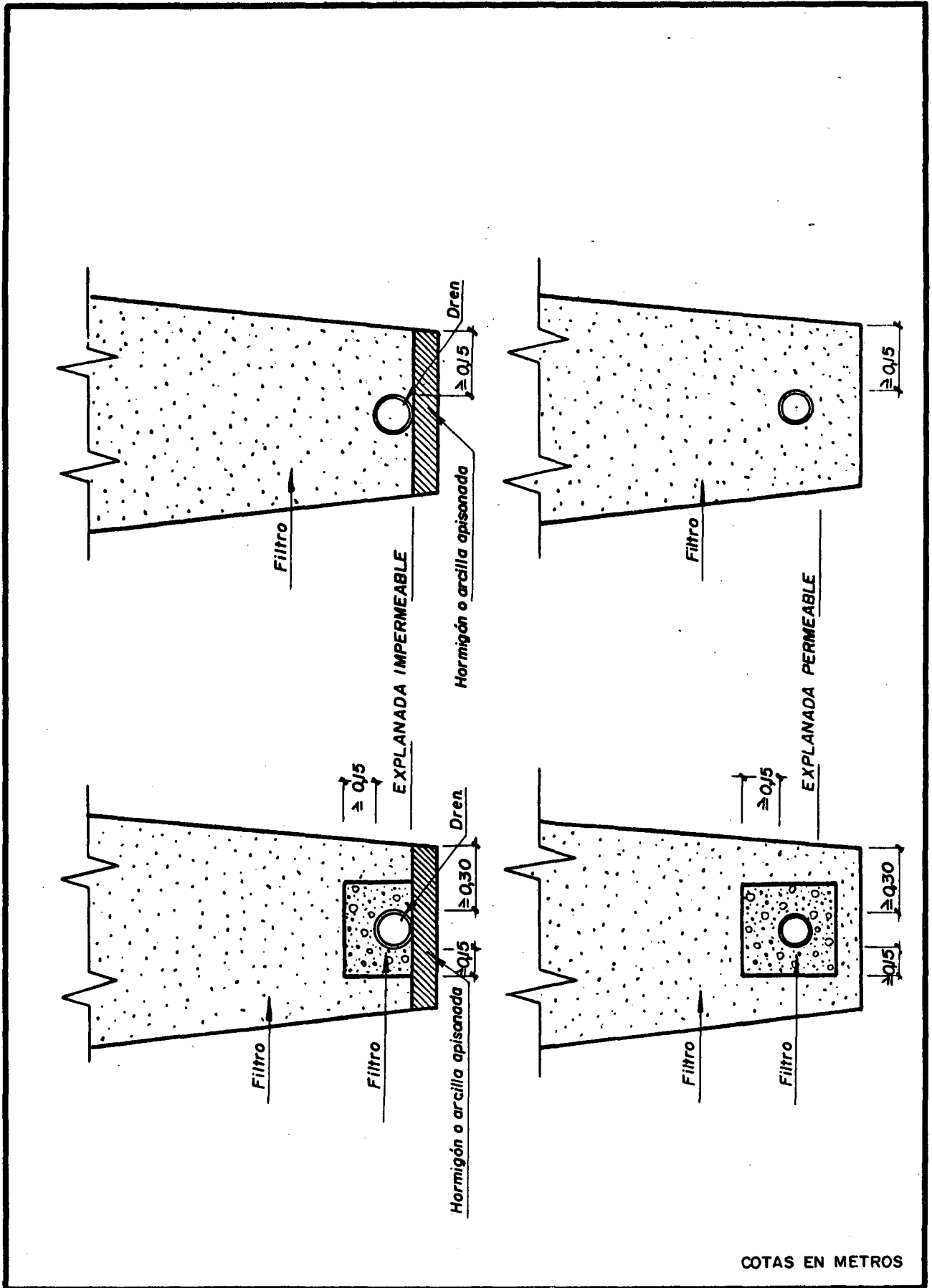


Figura 6.2.3.a

5.1 - IC.

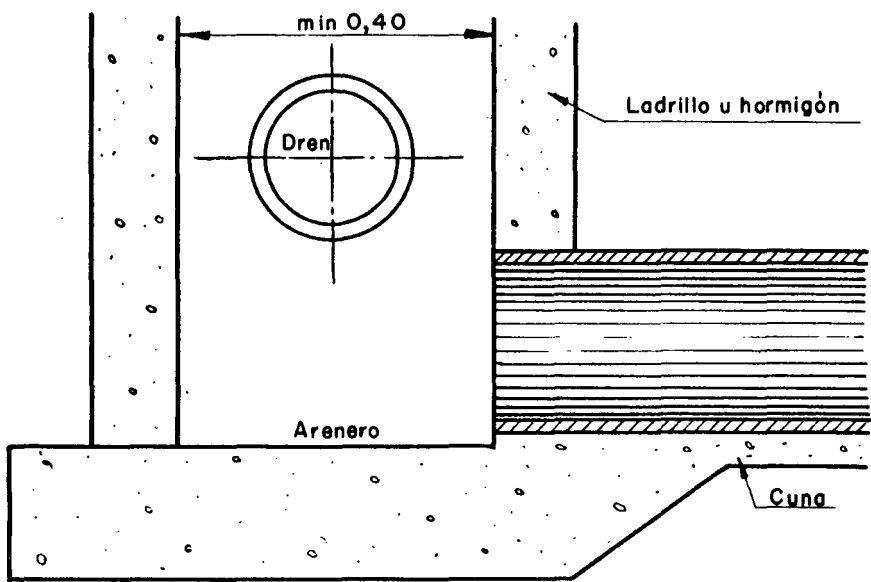
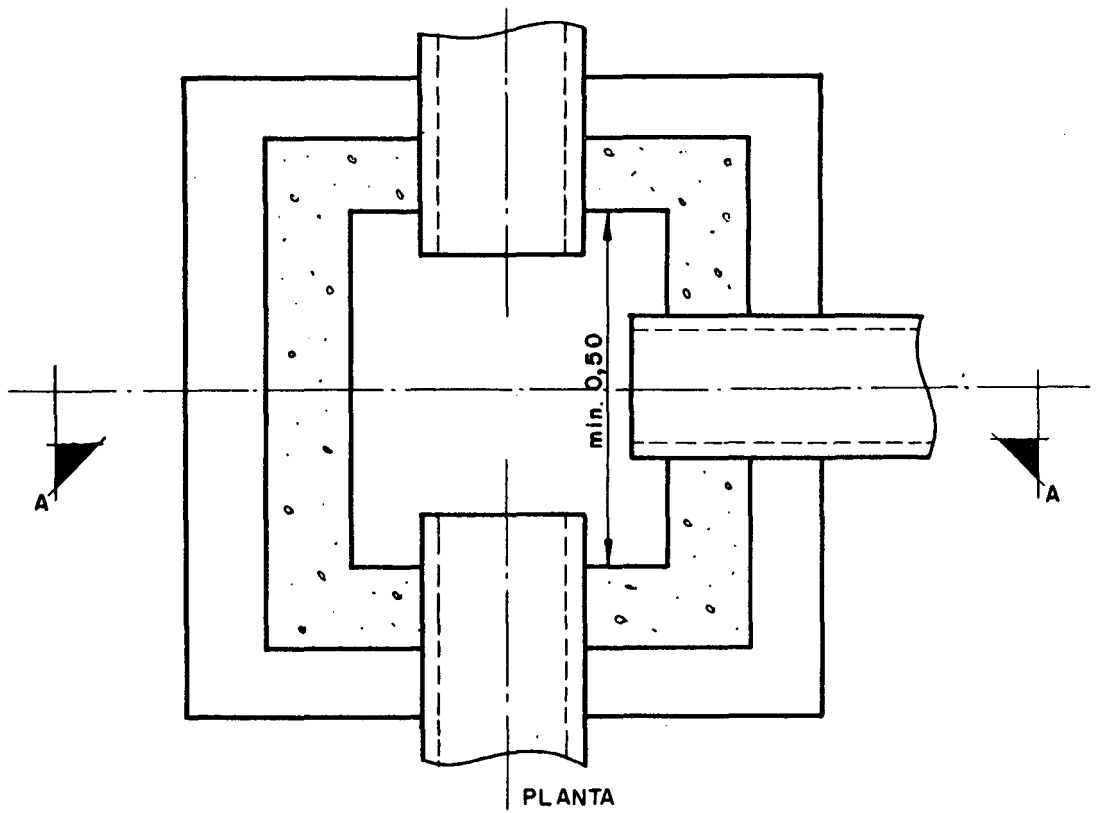
RELLENO DE ZANJAS DE DRENAJE



Figuro 6.2.3.b

5.1 - IC.

ARQUETA



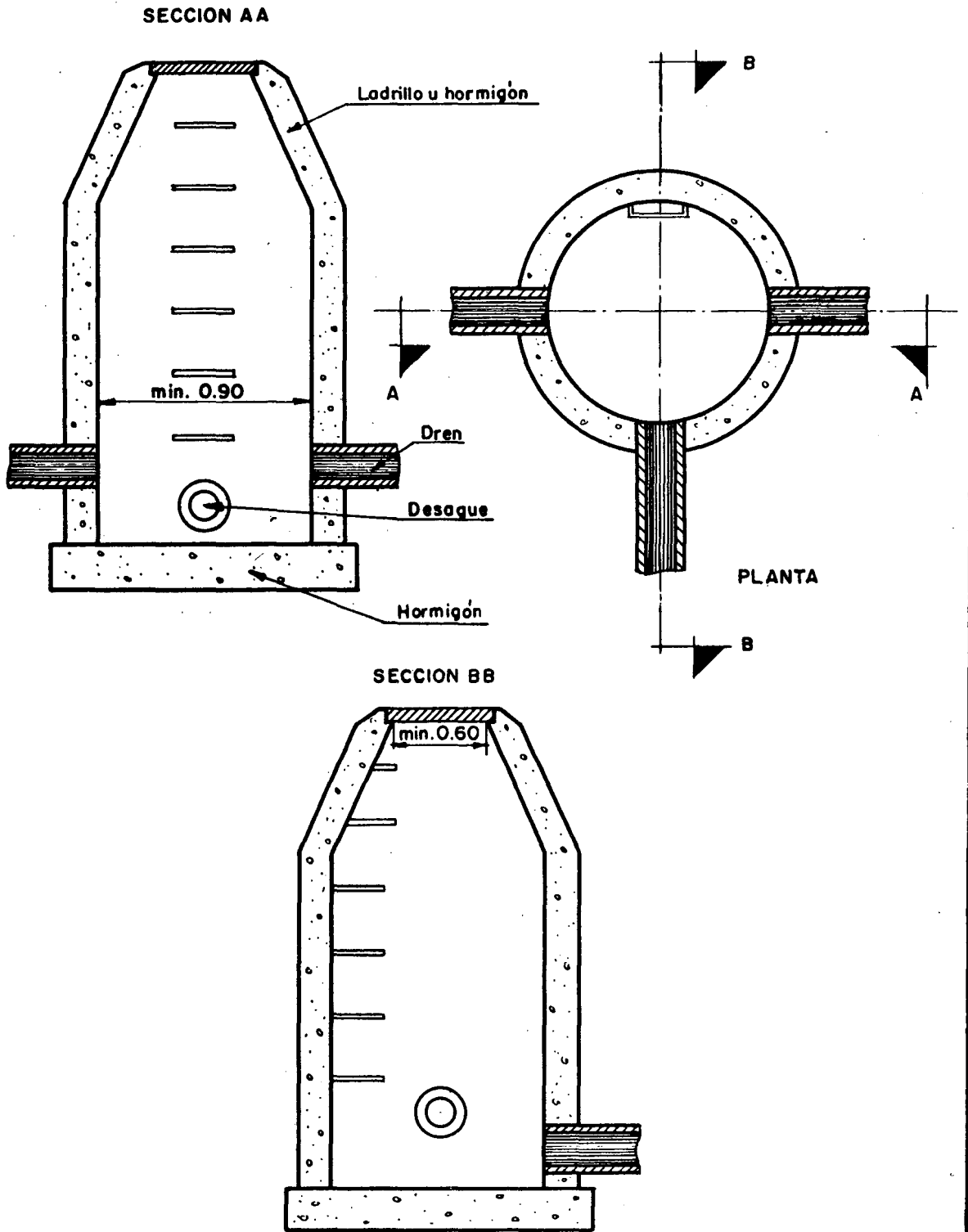
SECCION A A

COTAS EN METROS

Figura 6.2.4.a

5.1 - IC.

REGISTRO



COTAS EN METROS

Figura 6.2.4.b

5.1 - IC.

### AGUA FREÁTICA

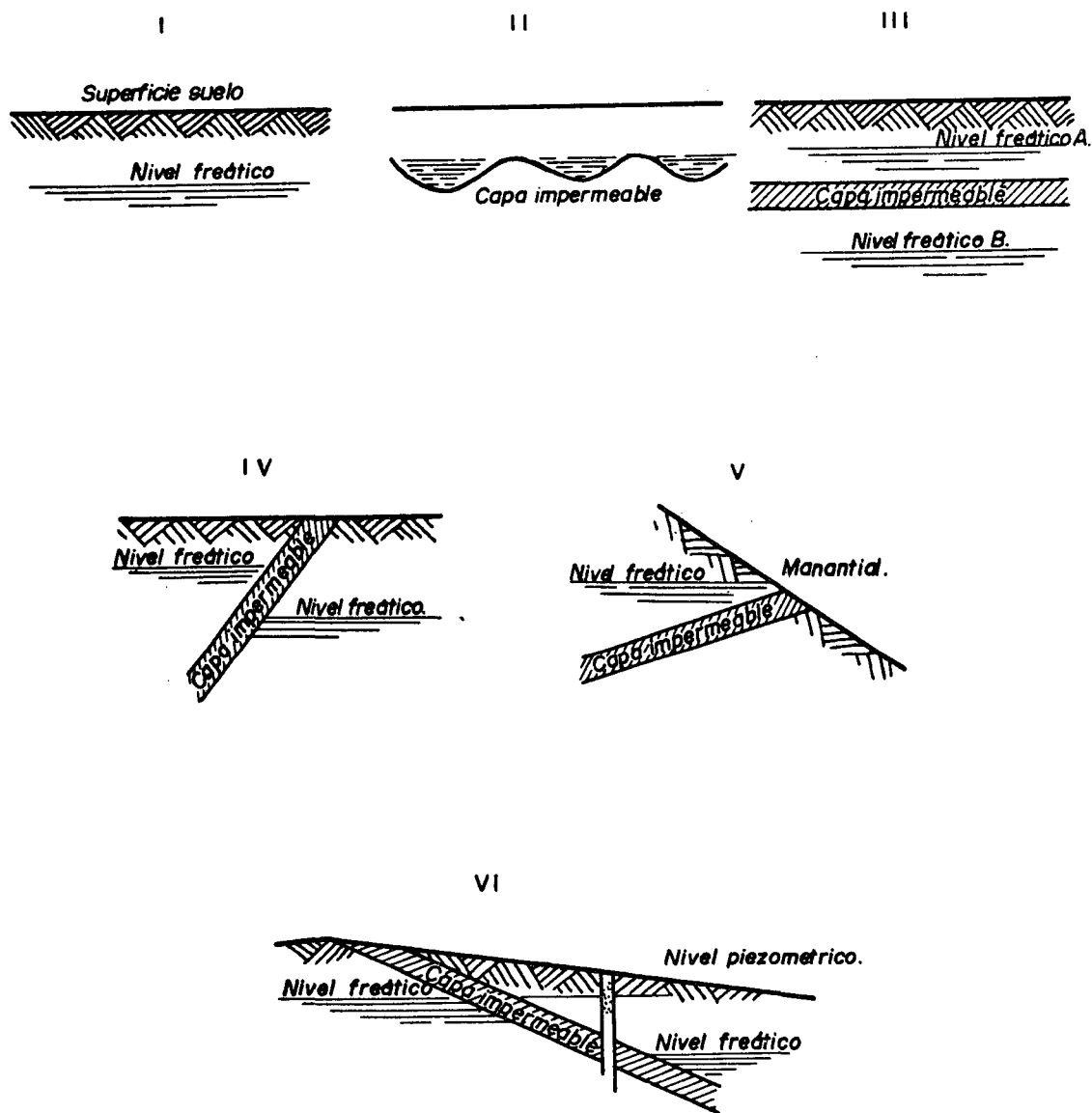


Figura 6.3

5.1 - IC.

### DRENES DE INTERCEPCION LONGITUDINALES

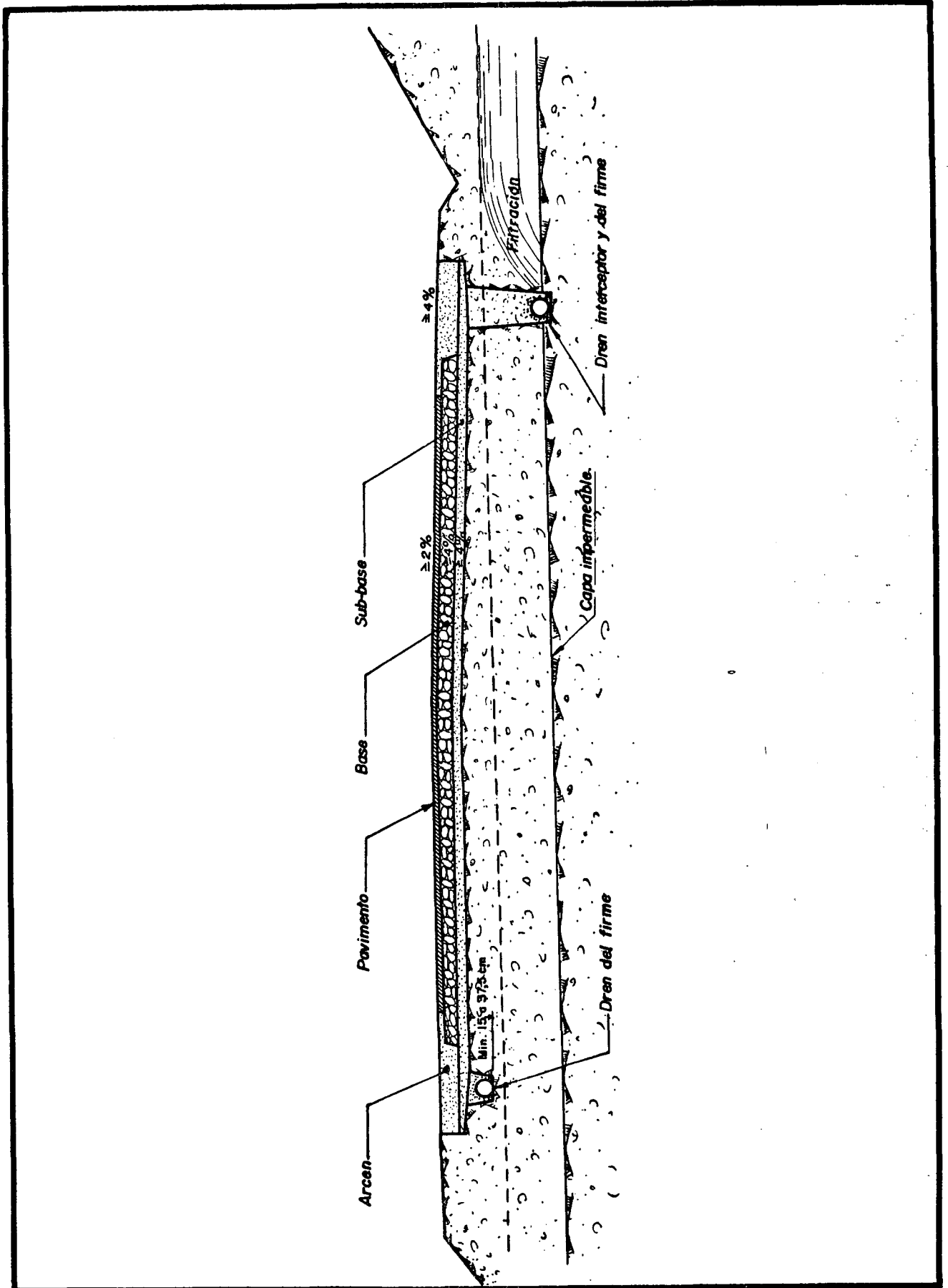


Figura 6.4.2.a



5.1 - IC.

### DRENES DE INTERCEPCION LONGITUDINALES

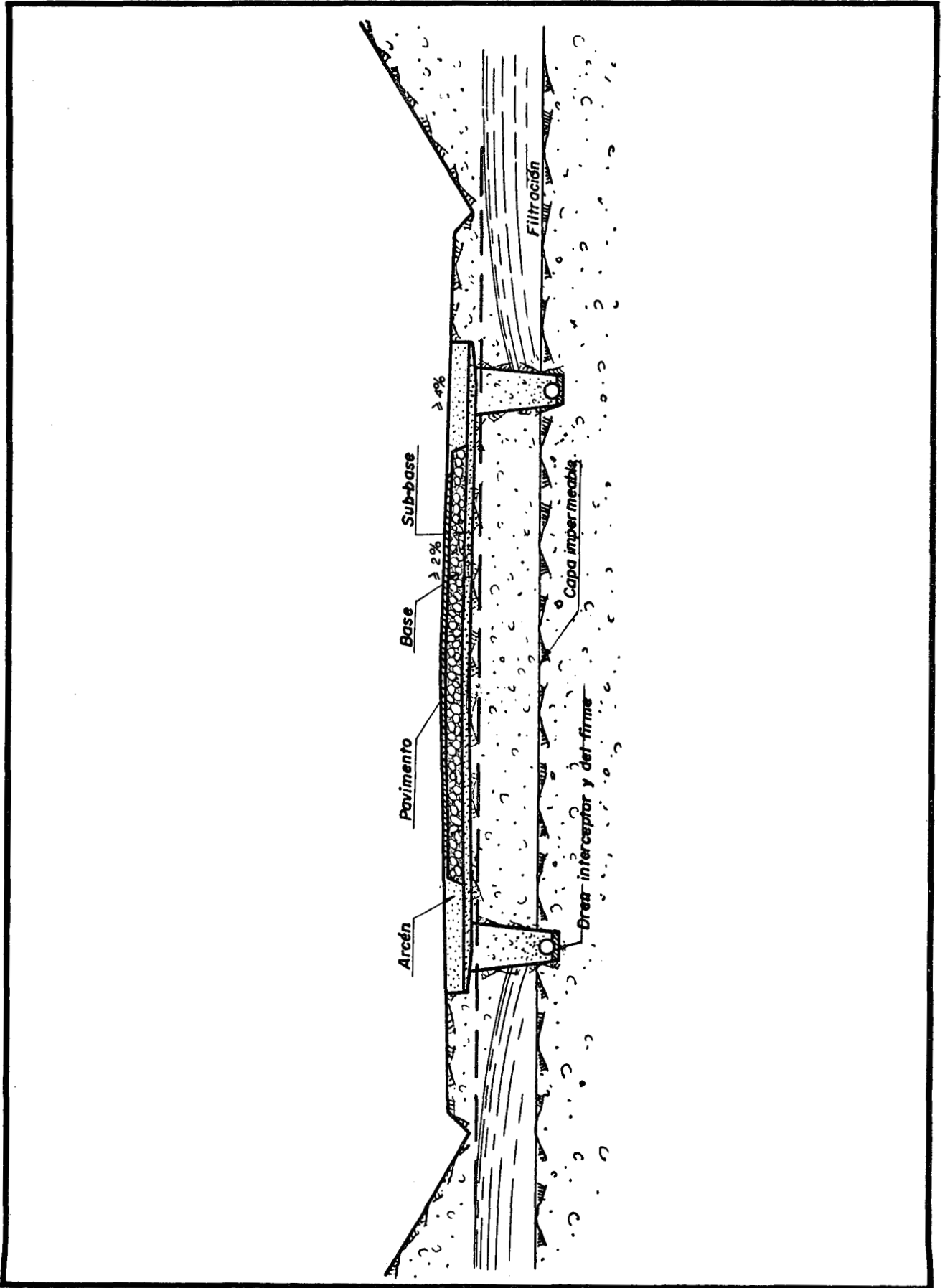
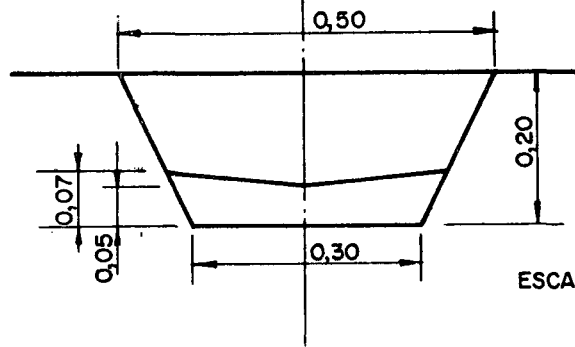


Figura 6.4.2.b

5.1 - IC.

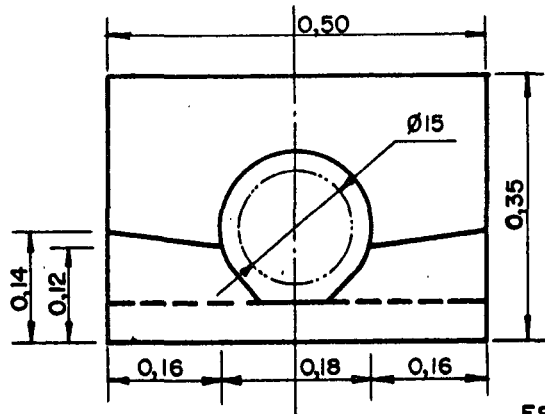
DRENES DE INTERCEPCION TRANSVERSALES

SECCION TRANSVERSAL - A



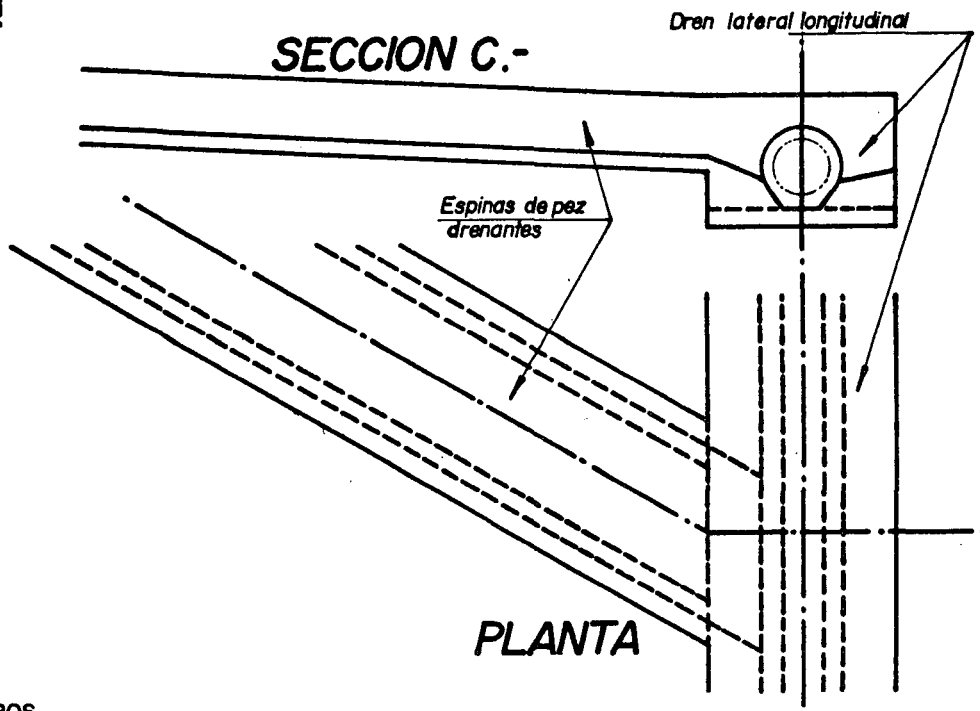
ESCALA 1/10

SECCION TRANSVERSAL - B



ESCALA 1/10

SECCION C.-



COTAS EN METROS

Figura 6.4.3.a

5.1 - IC.

### DRENES DE INTERCEPCION TRANSVERSALES

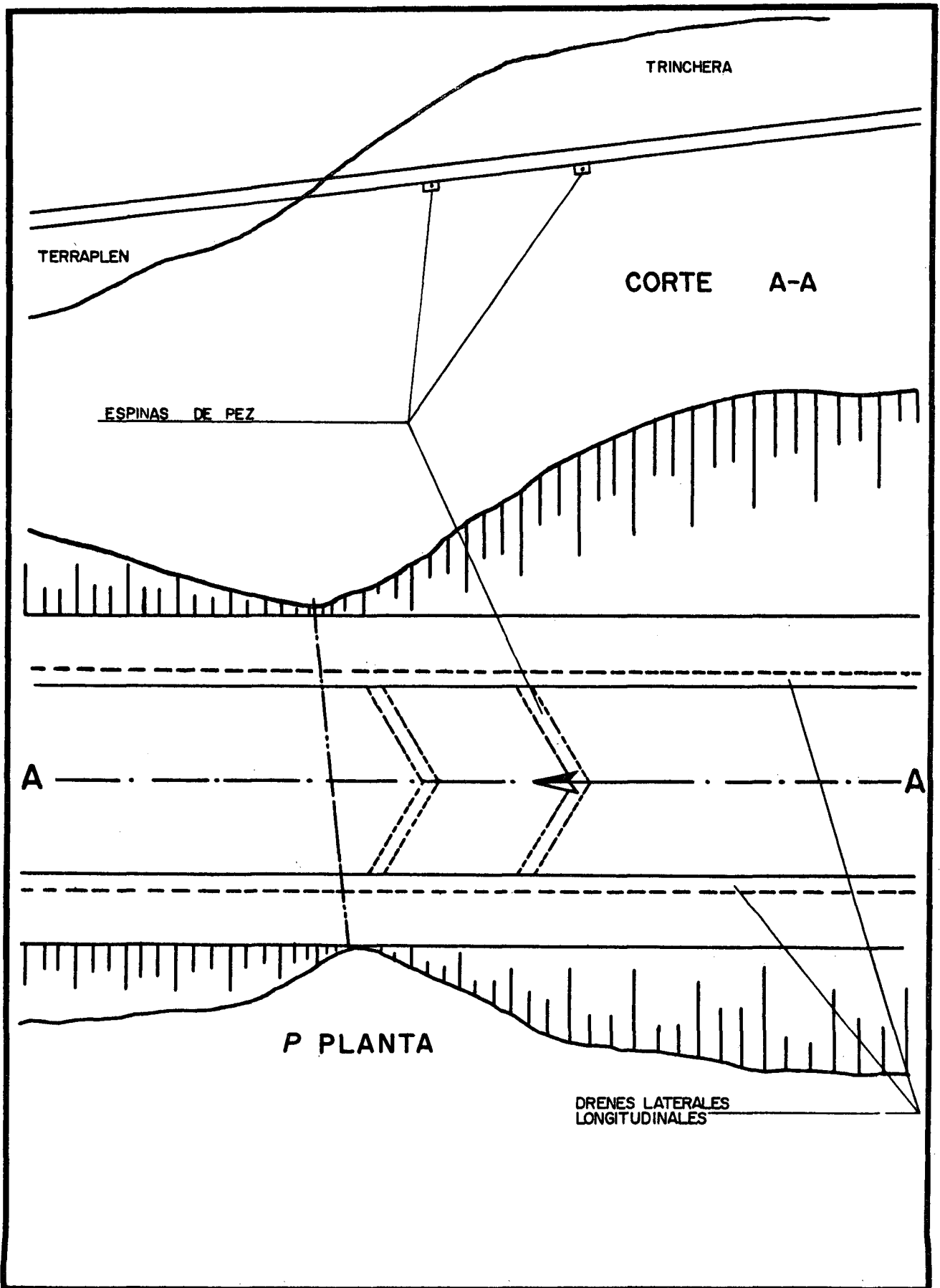


Figura 6.4.3.b

5.1 - IC.

### DRENES PARA REBAJAR EL NIVEL FREATICO

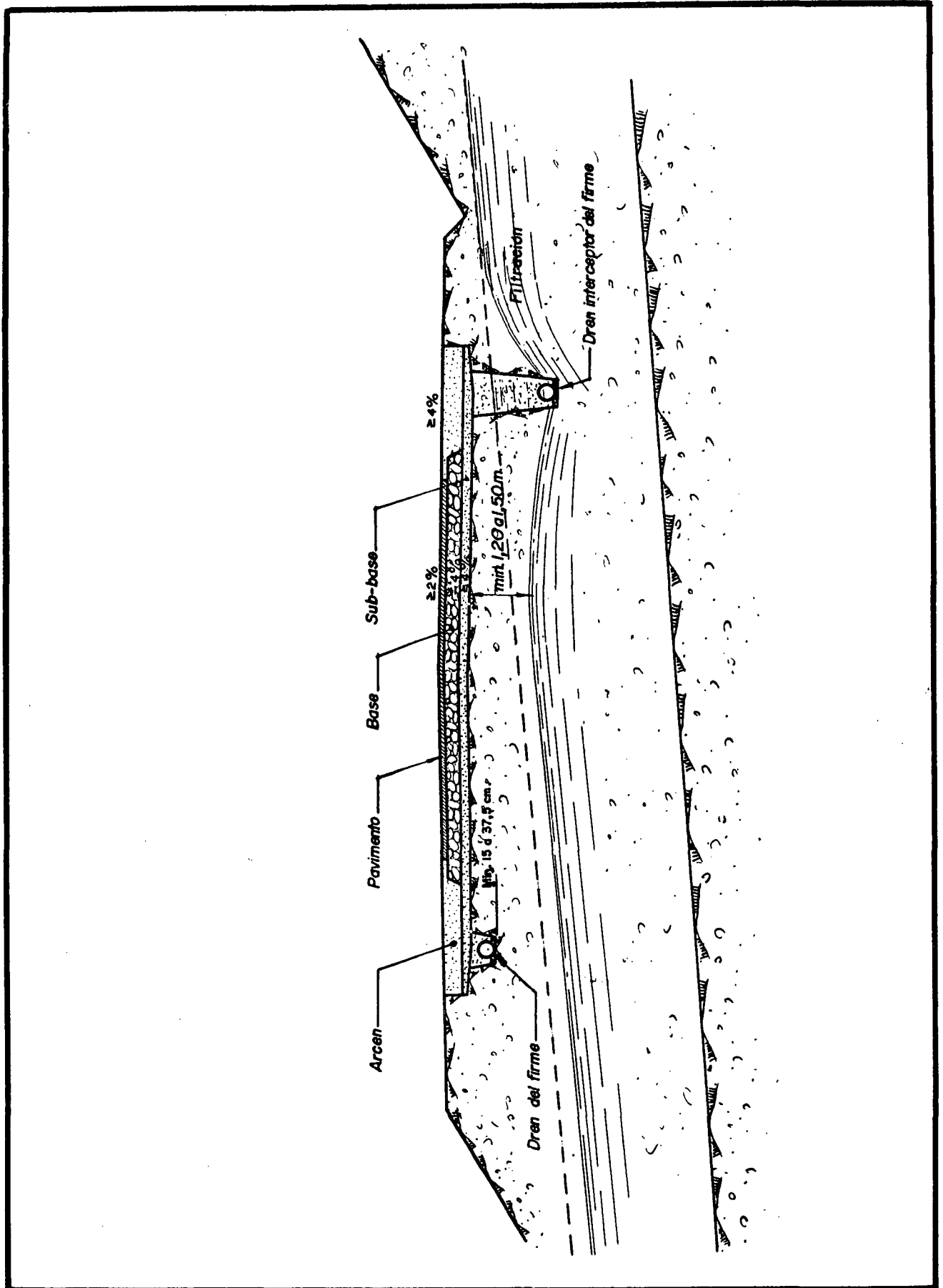


Figura 6.5.a

5.1 - IC.

### DRENES PARA REBAJAR EL NIVEL FREÁTICO

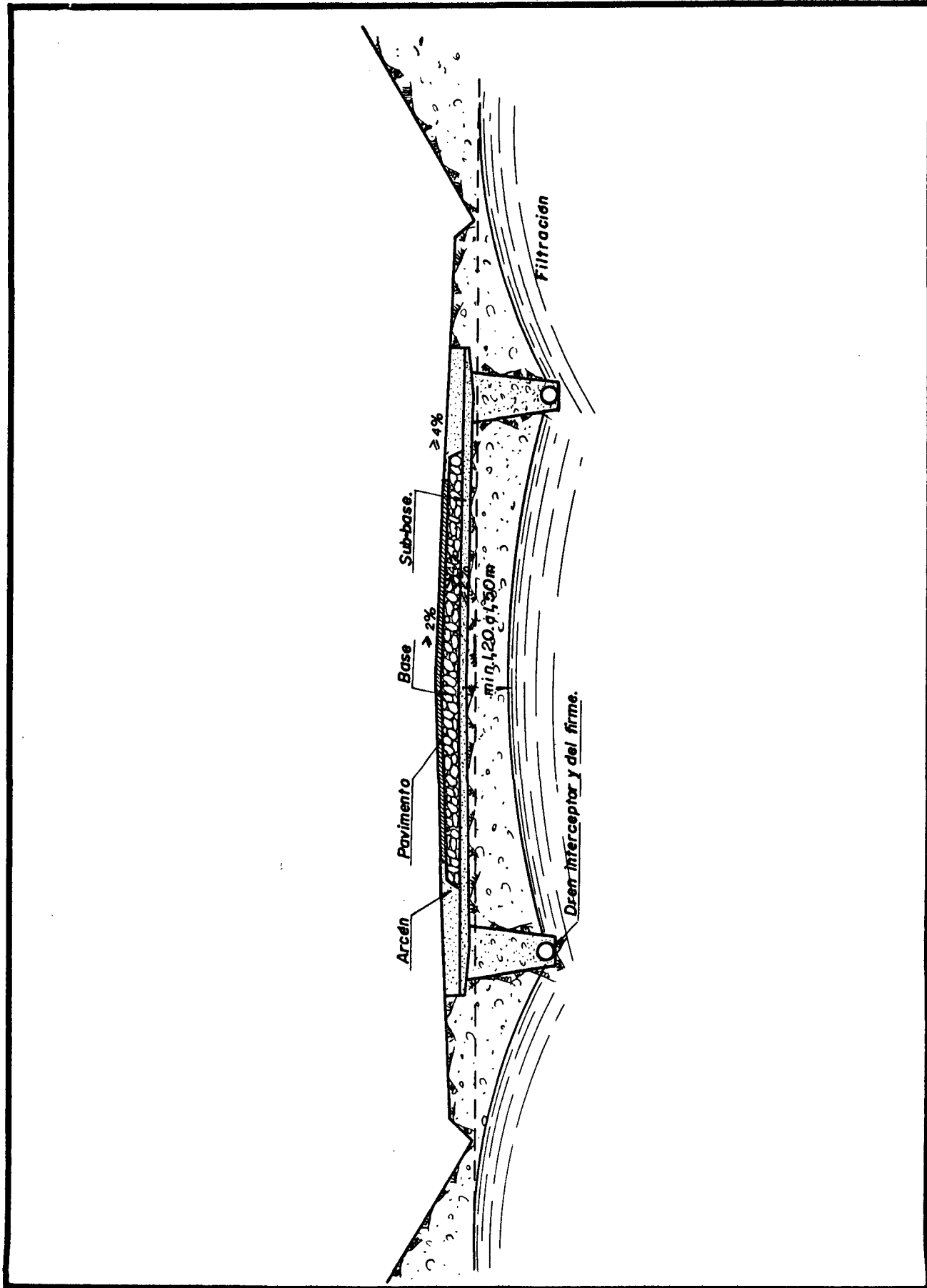


Figura 6.5.b

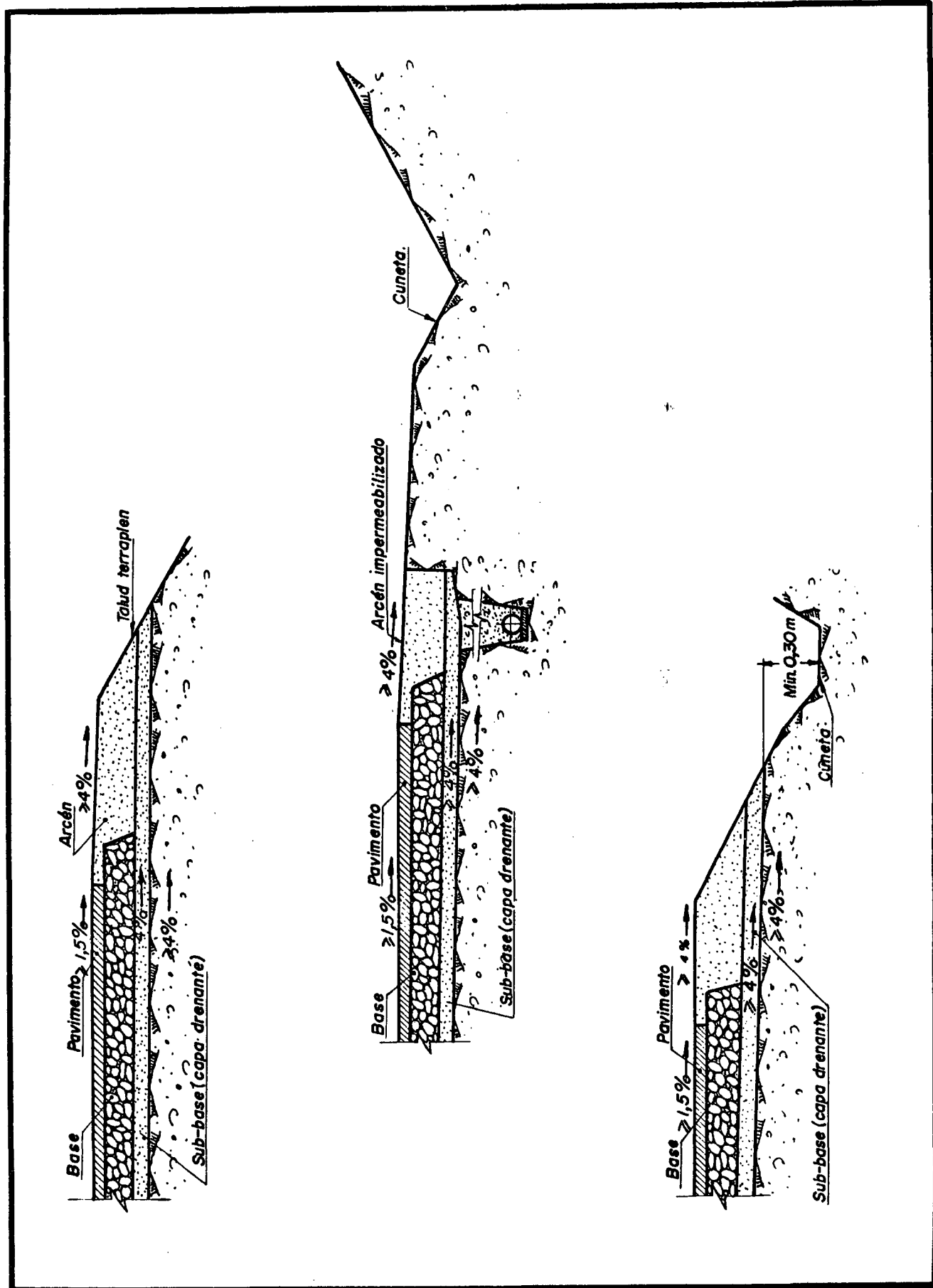


Figura 6.6.o

5.1 - IC.

DRENAJE DEL FIRME

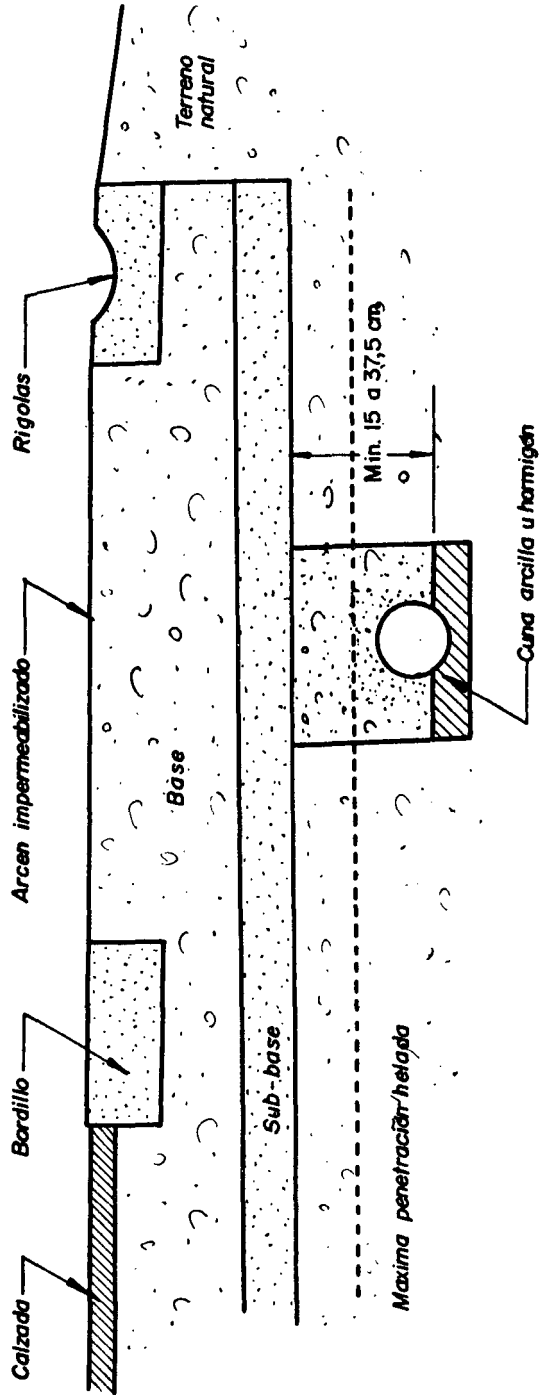


Figura 6.6.b

5.1 - IC.

PROTECCION DE LA EXPLANADA

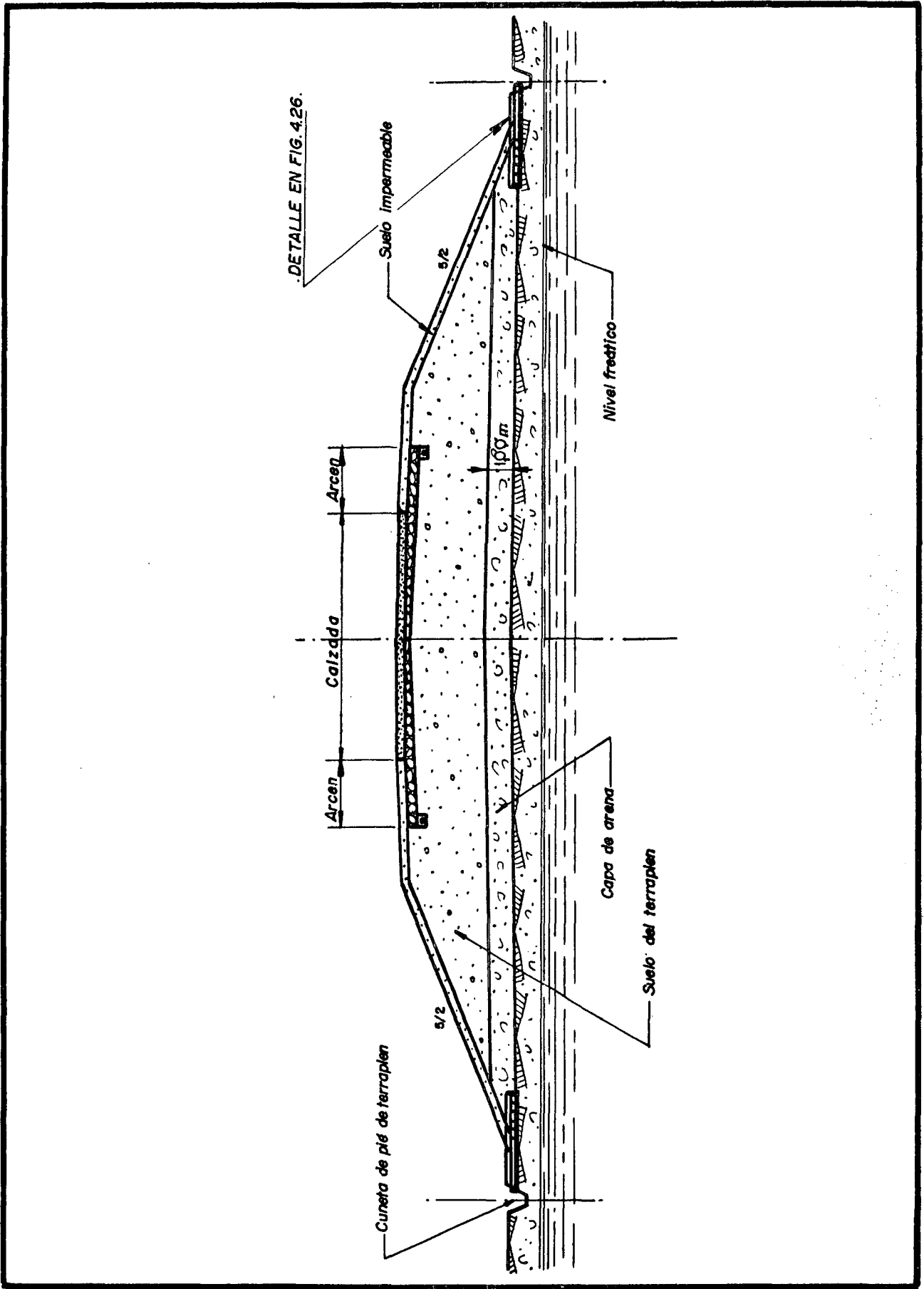


Figura 6.7.1.a



5.1 - IC.

PROTECCION DE LA EXPLANADA

COTAS EN METROS

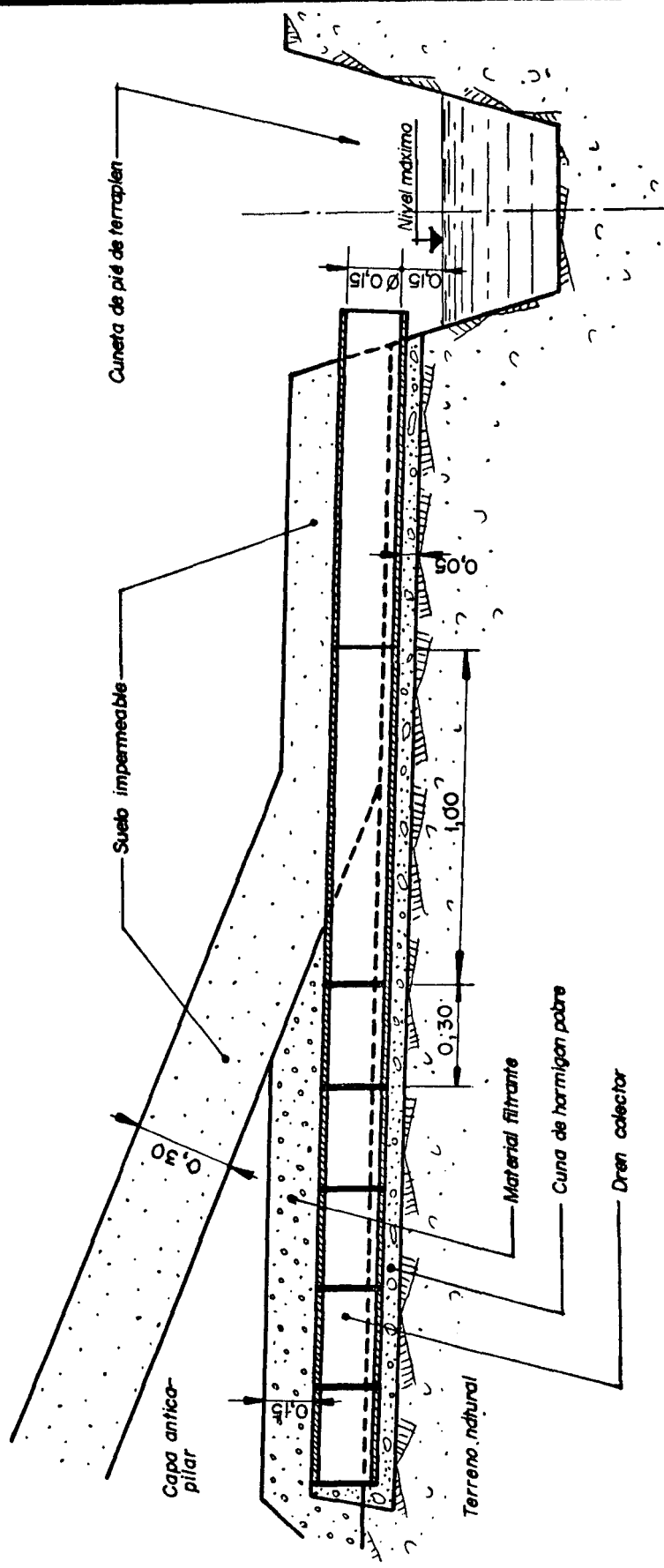


Figura 6.7.1.b