

11787

Hid. 60

e. 2

MOP

DIRECCION DE VIALIDAD

DIVISION DE ESTUDIOS Y PROYECTOS

MANUAL DE DRENAJE

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

MOP
83
ej. 1.

MOP

DIRECCION DE VIALIDAD

DIVISION DE ESTUDIOS Y PROYECTOS

MANUAL DE DRENAJE

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

NOTA IMPORTANTE

El Ministerio de Obras Públicas, a fin de facilitar a un máximo la utilización del presente Manual, hace del conocimiento de sus usuarios que cualquier tipo de duda o inconveniente que pueda presentárseles, podrá ser aclarado dirigiéndose a la División de Estudios y Proyectos de la Dirección de Vialidad.

Asimismo, se les sugiere mantener contacto periódico con esa División, a fin de poder obtener cualquier mejora o ampliación que se decidiese incluir en el futuro.

**CAPITULO I
CONSIDERACIONES GENERALES**

	Pág.	
I.1	IMPORTANCIA DEL DRENAJE EN CARRETERAS	1
I.2	RESPONSABILIDAD DEL DISEÑO	1
I.3	CRITERIOS ECONOMICOS	2
I.4	RESTRICCIONES AL USO DEL MANUAL	2

**CAPITULO II
TRABAJOS DE CAMPO**

II.1	RECOPIACION DE INFORMACION	3
II.2	VIAJES DE RECONOCIMIENTO	3
II.2.1	Viajes aéreos	3
II.2.2	Viajes de inspección por tierra	3
II.2.3	Informe	4
II.3	TRABAJOS DE TOPOGRAFIA	5
II.3.1	Perfiles longitudinales	5
II.3.2	Plantas	5
II.3.3	Secciones transversales	5

**CAPITULO III
HIDROLOGIA**

III.1	GASTO DE DISEÑO	6
III.2	INTENSIDAD DE LA LLUVIA	6
III.2.1	Frecuencia de diseño	6
III.2.2	Duración de la lluvia	7
III.3	COEFICIENTE DE ESCORRENTIA	8
III.3.1	Permeabilidad del suelo	8
III.3.2	Cobertura vegetal	9
III.3.3	Topografía	9
III.3.4	Determinación del coeficiente de escorrentía	9
III.4	AREA DE LA CUENCA	10
TABLA III.1	Frecuencia de diseño	7
TABLA III.2	Velocidades de escurrimiento por las laderas	8
TABLA III.3	Coficiente de escorrentía C	11
NOMOGRAMA III.1	Tiempo de concentración	12
FIGURAS III.1 a III.8	Curvas intensidad-frecuencia-duración de la precipitación	13-20
PLANO DE REGIONES HIDROLOGICAS		
FOTOGRAFIAS ILUSTRATIVAS		

**CAPITULO IV
DISEÑO DE LAS ALCANTARILLAS**

	Pág.
IV.1 INTRODUCCION	21
IV.2 RECOMENDACIONES GENERALES	21
IV.2.1 Diámetros mínimos	21
IV.2.2 Carga permisible a la entrada (HEP)	21
IV.2.3 Velocidades permisibles a la salida	21
IV.2.4 Velocidades máximas y mínimas	22
IV.2.5 Arrastres	23
IV.2.6 Condiciones de entrada y salida	24
IV.2.7 Profundidades mínimas y máximas de alcantarillas ..	24
IV.2.8 Protección de alcantarillas	29
IV.2.9 Subdrenajes	30
IV.3 UBICACION DE ALCANTARILLAS	30
IV.4 DETERMINACION DE LA ALTURA DE AGUA EN LA ENTRADA Y EN LA SALIDA DE LAS ALCANTARILLAS	31
IV.4.1. Altura de agua en la entrada	31
IV.4.2. Altura de agua en la salida	32
IV.5 NOMENCLATURA	31
IV.6 HIDRAULICA DE LAS ALCANTARILLAS	33
IV.6.1 Definiciones y consideraciones generales	33
IV.6.2 Condiciones típicas de funcionamiento de las alcan- tarillas	35
IV.7 DISEÑO DE ALCANTARILLAS. PROCEDIMIENTO	39
IV.7.1 Datos requeridos	39
IV.7.2 Selección de tamaño y tipos tentativos de alcantarillas.	40
IV.7.3 Cálculo hidráulico de la alcantarilla	40
IV.8 CONTROL DE EROSION A LA SALIDA	41
IV.8.1 Muros de ala	42
IV.8.2 Obras de disipación de energía	42
LAMINA IV.1 Deflector de arrastres flotantes y cantos rodados ..	25
LAMINA IV.2 Deflector de arrastres flotantes	26
LAMINA IV.3 Barrera inclinada de protección	27
LAMINA IV.4 Barrera de protección contra arrastres flotantes li- vianos	28
TABLA IV.1 Coeficiente de pérdida de carga	47
FIGURA IV.1 Condiciones típicas de funcionamiento	37
FIGURA IV.2 Determinación de h_o	38
FIGURA IV.3 Disipación por caída	44
FIGURA IV.4 Disipación por ranuras	45
FIGURA IV.5 Disipación por impacto	46

	Pág.
NOMOGRAMA IV.1 Régimen uniforme para canales trapeciales ..	48
NOMOGRAMA IV.2 Colectores llenos. Régimen uniforme	49
NOMOGRAMA IV.3 Colectores llenos. Régimen uniforme	50
NOMOGRAMA IV.4 Cajones con control a la entrada	51
NOMOGRAMA IV.5 Tubos de concreto con control a la entrada..	52
NOMOGRAMA IV.6 Tubos de metal corrugado con control a la entrada	53
NOMOGRAMA IV.7 Secciones abovedadas de metal corrugado con control a la entrada	54
NOMOGRAMA IV.8 Cajones de concreto con control a la salida.	55
NOMOGRAMA IV.9 Tubos de concreto con control a la salida ...	56
NOMOGRAMA IV.10 Tubos de metal corrugado con control a la salida	57
NOMOGRAMA IV.11 Tubos de láminas estructurales de metal corrugado con control a la salida	58
NOMOGRAMA IV.12 Secciones abovedadas de metal corrugado con control a la salida	59
NOMOGRAMA IV.13 Secciones abovedadas de láminas estructurales de metal corrugado con control a la salida	60
GRAFICO IV.1 Profundidad crítica. - Canales rectangulares	61
GRAFICO IV-2a y 2b Profundidad crítica. - Conductos circulares ..	62-63
GRAFICO IV-3a y 3b Profundidad crítica. - Secciones abovedadas de metal corrugado	64-65
GRAFICO IV.4 Profundidad normal. - Secciones rectangulares	66
GRAFICO IV.5 Secciones circulares de concreto a sección plena.	67
GRAFICO IV.6 Secciones circulares de metal corrugado a sección plena	68
GRAFICO IV.7 Tubos de láminas estructurales de metal corrugado a sección plena	69
GRAFICO IV.8 Secciones abovedadas de metal corrugado a sección plena	70
GRAFICO IV.9 Secciones abovedadas de láminas estructurales de metal corrugado a sección plena	71
GRAFICO IV.10 Elementos hidráulicos	72

CAPITULO V DRENAJE SUPERFICIAL

V.1 CONCEPTOS BASICOS	73
V.2 RECOMENDACIONES GENERALES	73
V.2.1 Frecuencia de diseño	73

	Pág.	
V.2.2	Tiempo mínimo de concentración	73
V.2.3	Pendientes transversales	73
V.2.4	Dimensiones y pendientes mínimas en cunetas	73
V.2.5	Diámetros mínimos	73
V.2.6	Velocidades mínimas y máximas	74
V.2.7	Aguas sobre la calzada	74
V.2.8	Proyectos por etapas	74
V.2.9	Longitud de sumideros	74
V.2.10	Depresión en sumideros	74
V.2.11	Vías con isla central	74
V.2.12	Coeficiente de rugosidad "n" de Manning	74
V.2.13	Subdrenajes	75
V.3	GASTO DE DISEÑO	75
V.4	DISEÑO DE SUMIDEROS	75
V.4.1	Tipos de sumideros	75
V.4.2	Sumideros de ventana	76
V.4.3	Sumideros de rejillas	76
V.4.4	Sumideros mixtos	76
V.4.5	Condiciones de diseño	76
V.4.6	Ubicación de sumideros	79
V.5	UBICACION DE LAS BOCAS DE VISITA	79
V.6	UBICACION DE LAS TUBERIAS	79
V.7	DISEÑO DE CANALES	80
V.7.1	Generalidades	80
V.7.2	Procedimiento para el diseño	80
TABLA V.1	Límite de inundación permisible	83-84
TABLA V.2	Velocidades máximas recomendables	85
TABLA V.3	Recomendaciones para el recubrimiento	85
FIGURA V.1	Sumideros de ventana	86
NOMOGRAMA V.1	Flujo en canales triangulares	87
NOMOGRAMA V.2	Régimen uniforme para canales trapeciales ..	88
GRAFICO V.1 al V.3	Sumideros de ventana. - Relación de intercep- tación	89-91
GRAFICO V.4	Capacidad de sumideros de ventana en puntos bajos	92
GRAFICO V.5	Capacidad de rejas	93
GRAFICO V.6	Canales triangulares plenos	94

CAPITULO VI CONTROL DE EROSION

VI.1	CONCEPTOS BASICOS	95
VI.2	SELECCION DEL SISTEMA DE SIEMBRA	95

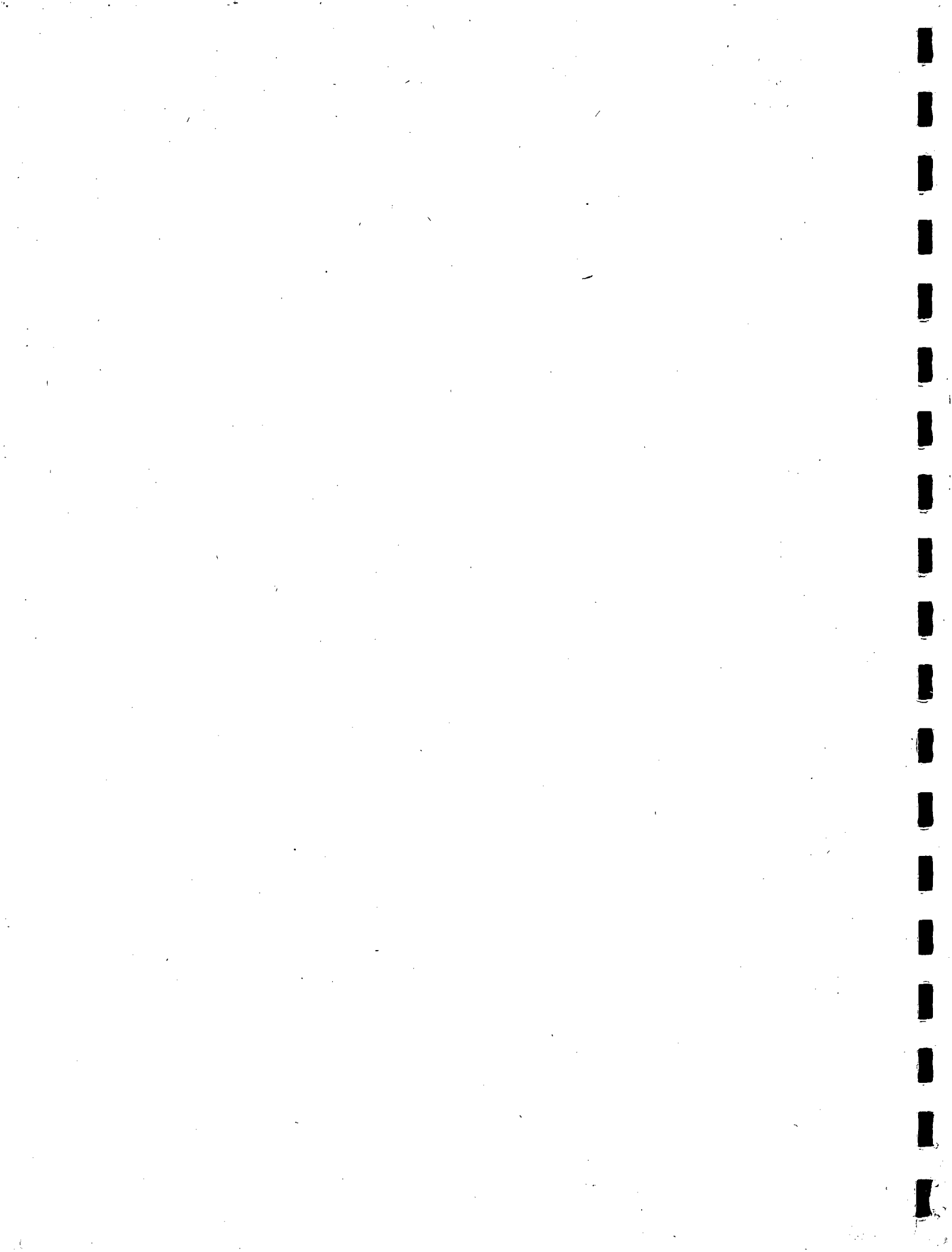
	<u>Pág.</u>
VI.2.1 Suelos de textura fina	97
VI.2.2 Suelos de textura gruesa	98
VI.2.3 Suelos formados por esquistos meteorizados y rocas muy fragmentadas	98
VI.3 SELECCION DE ESPECIES	98
VI.3.1 Grupo I	99
VI.3.2 Grupo II	99
VI.3.3 Grupo III	99
VI.3.4 Grupo IV	100
VI.4 NORMAS Y ESPECIFICACIONES PARA TRABAJOS DE REFO- RESTACION	100
VI.5 OBRAS DE DRENAJE COMPLEMENTARIAS A LA REFORESTA- CION	100
VI.5.1 Cunetas de coronamiento	101
VI.5.2 Brocales en terraplenes	101
VI.5.3 Control de la socavación lateral	101

**CAPITULO VII
RECOMENDACIONES RELATIVAS A LA PRESENTACION DE PROYECTOS DE
DRENAJES PARA CARRETERAS**

VII.1 GENERALIDADES	103
VII.2 DOCUMENTOS	103
VII.3 PLANOS	103
VII.3.1 Planos de detalles	103
VII.3.2 Planos de conjunto	103
VII.3.3 Planos de planta	103
VII.3.4 Perfiles longitudinales de la vía	104
VII.3.5 Secciones transversales de la vía	104
VII.3.6 Perfiles longitudinales de los canales	104
VII.3.7 Alcantarillas importantes	104
EJEMPLO ILUSTRATIVO	105
FORMATO VII.1 Para el cálculo del coeficiente de escorrentía	105
FORMATO VII.2 Para el cálculo de gasto de diseño	106
FORMATO VII.3 Para esquemas de las hoyas hidrográficas	107
FORMATO VII.4 Para cálculo de alcantarillas	108-113
FORMATO VII.5 Para resumen del cálculo de alcantarillas	114

ANEXOS

ANEXO A Tabla A-1. Coeficiente "n" de Manning	115
Procedimiento para estimar el coeficiente "n" de Manning en cana- les no recubiertos	117
Ejemplo ilustrativo	119



CAPITULO I

CONSIDERACIONES GENERALES

1.1 IMPORTANCIA DEL DRENAJE EN CARRETERAS

El drenaje en carreteras comprende:

1.1.1 Las obras necesarias para permitir el paso de las aguas cuyos cauces son interferidos por las carreteras.

1.1.2. Las obras requeridas para disponer y eliminar las aguas que caen sobre la carretera misma.

1.1.3. Las obras necesarias para drenar las aguas subterráneas, con el fin de proteger la estabilidad y el comportamiento de terraplanes y pavimentos.

La importancia que tiene un proyecto de drenaje integral, ejecutado conjuntamente con el proyecto de la vía, se comprende si se analizan los problemas que pueden presentarse cuando a las obras de drenaje no se les dá la consideración debida. Por ejemplo, si las obras necesarias para permitir el paso de las aguas, tales como alcantarillas y cajones son excedidas en su capacidad, bien sea por el gasto líquido o el arrastre sólido, se producirá un embalsamiento de las aguas que traerá como consecuencia el deterioro y la inestabilidad del terraplén, o que el agua sobrepase la vía interrumpiendo el tránsito y erosionando el terraplén aguas abajo, o que se dañen propiedades vecinas. Por otra parte, si en la calzada o en los laterales de la vía no existen las obras de drenaje adecuadas, se producirán retardos y accidentes en el tránsito, y se erosionarán los taludes y áreas laterales de la vía. Es necesario, por último disponer de un sistema de subdrenaje adecuado para evitar que se dañe tanto la base que soporta el pavimento como la fundación de un terraplén.

Es conveniente hacer notar que las obras de drenaje representan un porcentaje considerable del costo total de una carretera y que su mal funcionamiento implicará grandes sumas de dinero que habrá que gastar en reparaciones, conservación y mantenimiento.

1.2 RESPONSABILIDAD DEL DISEÑO

En consideración a los conceptos anteriores y tomando en cuenta que el hecho de escoger un gasto de diseño de acuerdo a determinada frecuencia está basado en probabilidades de ocurrencia, se llega a la conclusión de que la calidad de un sistema de drenaje eficientemente construído, descansa sobre la bondad de los datos que sirvieron de base para el proyecto.

La solución de cualquier problema de drenaje involucra cinco fases más o menos definidas, que son las siguientes: investigación, análisis, recomendaciones, consulta y revisión.

La responsabilidad del diseño debe estar en manos de ingenieros con experiencia en este campo, pues el objetivo fundamental es seleccionar y construir la estructura más económica que permita el paso de las aguas aceptando cierto riesgo respecto a los daños que pudieran ocasionarse a la vía, al tránsito y a las propiedades adyacentes.

X Este Manual propone una sistematización de procedimientos y está destinado a aquellas personas que, teniendo un entrenamiento previo, puedan hacer un uso efectivo del mismo, ayudándoles, asimismo, a determinar los casos en que deben ser consultados especialistas en la materia. Consecuentemente, las obras de drenaje deberán ser proyectadas y revisadas por profesionales capacitados y las dependencias que tuvieran a su cargo la ejecución y revisión de la construcción, o de los proyectos, deberán contar con secciones especializadas, dotadas con el número de profesionales adecuado para dar cumplimiento a la labor a realizar.

1.3 CRITERIOS ECONOMICOS

La información que debe recabarse a fin de servir de base a un análisis económico de los proyectos de drenaje, es la siguiente:

- I.3.1 Los costos de construcción.
- I.3.2 Costo del terreno.
- I.3.3 Vida útil del drenaje — Extensiones futuras.
- I.3.4 Costo de reemplazar un drenaje. Posible re-utilización en otro sitio.
- I.3.5 Beneficios producidos por mejoras a los terrenos o por evitar daños a los mismos.
- I.3.6 Costos ocasionados por demoras, desvíos y otros problemas ocasionados al tránsito.
- I.3.7 Costo de mantenimiento.
- I.3.8 Costo de transporte.

1.4 RESTRICCIONES AL USO DEL MANUAL

El Manual de Drenaje presenta recomendaciones, métodos, procedimientos y normas generales para diseñar las obras de drenaje requeridas para pasar las aguas a través de las vías y para recoger y disponer las aguas que escurran en ellas. Los puentes no están comprendidos en el contenido del Manual.

El Manual representa un instrumento útil para ayudar a los proyectistas de drenajes de carreteras, así como para uniformar los cálculos y proyectos y como tal, debe ser utilizado por departamentos y profesionales especializados. Sin embargo, contiene una serie de criterios y recomendaciones generales que pueden servir de guía a los ingenieros inspectores e ingenieros de campo, quienes con entrenamiento previo pueden obtener información del Manual, formándose un criterio con respecto a los casos en que deben consultar a especialistas en la materia.

CAPITULO II

TRABAJOS DE CAMPO

El buen funcionamiento hidráulico de cualquier estructura de drenaje, no solo depende de un análisis correcto y un uso adecuado de las fórmulas y diagramas; la información en la cual se fundamenta su diseño es de vital importancia, siendo recomendable un conocimiento cabal que permita formarse un criterio claro del problema en cuestión. Toda obra de drenaje requiere de inspecciones oculares preliminares y en muchos casos, de visitas posteriores para ajustar el diseño a la realidad.

Los trabajos de campo deben realizarse después de hacer un reconocimiento general del sitio y de haber agotado todas las posibles fuentes de información, pues con ellos se debe completar los requerimientos de información y satisfacer las necesidades de cada obra en particular.

II.1 RECOPIACION DE INFORMACION

Se debe tratar de recabar toda la información posible sobre la vía, en la forma de planos topográficos, planos de anteproyecto (de trazado), estudios de suelos, informes hidrológicos y en general, cualquier otra información que afecte en mayor o menor grado las obras de drenaje que se pretende diseñar.

II.2 VIAJES DE RECONOCIMIENTO

II.2.1 Viajes aéreos

Es recomendable efectuar viajes aéreos de reconocimiento que permitan formarse una idea de conjunto acerca de la calidad y magnitud de los problemas de drenaje. En dichos viajes se prestará atención especial a todas aquellas características generales que, pudiéndose observar a distancia, puedan dar, una idea cualitativa del sistema de drenaje existente que va a ser modificado por la construcción de la vía. También será posible, en muchas oportunidades, precisar mejor los puntos y sitios de interés que deben ser objeto de visitas especiales.

Entre las características generales cabe mencionar como importantes:

II.2.1.1 La forma de las cuencas tributarias.

II.2.1.2 El grado de tortuosidad de los cauces existentes y la presencia de lechos abandonados.

II.2.1.3 Las características topográficas de la zona tales como pendientes de los terrenos y forma de los cauces.

II.2.1.4 La cobertura vegetal existente.

II.2.1.5 Las características geológicas aparentes tales como afloramientos rocosos, grandes extensiones de arena, etc.

II.2.1.6 Las obras de drenaje existentes aguas arriba y aguas abajo de la obra proyectada y la posible influencia sobre la misma.

II.2.2 Viajes de inspección por tierra

Los viajes de inspección por tierra complementan la información obtenida de los viajes aéreos y sirven de base para programar los estudios y trabajos a realizar en el campo. Durante ellos se deberá investigar:

II.2.2.1 El funcionamiento de estructuras de drenaje existentes, especialmente cuando ocurren crecientes de importancia.

II.2.2.2 La importancia de las propiedades adyacentes.

II.2.2.3 Las marcas de aguas altas y otros datos de crecientes ocurridas.

II.2.2.4 Las características de los cauces principales tales como sus secciones.

alineamiento, los obstáculos, la vegetación existente y la naturaleza de sus acarreos.

II.2.2.5 La calidad aparente de los suelos sobre los cuales se van a colocar las alcantarillas más importantes.

II.2.2.6 La evidencia de corrosión en estructuras metálicas existentes o de desgaste en estructuras de concreto.

II.2.3 Informe

El informe relativo a los viajes de reconocimiento debe exponer en forma clara y concisa toda la información recopilada y debe incluir las recomendaciones relativas a los trabajos a realizar en el sitio.

II.2.3.1 Cuencas Tributarias

Debe indicarse claramente los planos topográficos que se van a usar, así como también cualquier discrepancia observada entre los planos y la realidad. Es recomendable usar planos topográficos en escala de 1:10.000 para la determinación de las áreas y de las características fisiográficas de las cuencas.

II.2.3.2 Características de los cursos de agua

Para poder determinar la pendiente media del cauce en el sitio de cruce con la carretera, es necesario establecer la extensión de los perfiles longitudinales requeridos. Debe señalarse la naturaleza del material del cauce; es decir, si es arenoso, arcilloso, pedregoso o rocoso, y también el tipo de vegetación existente en el cauce, tales como malezas, hierbas, arbustos, indicando el porcentaje de área que cubren.

También es importante suministrar la información recabada respecto al material de arrastre, a la tortuosidad del curso de agua, a las marcas dejadas por las crecientes y a la velocidad de las aguas.

II.2.3.3 Características de la cuenca

La pendiente puede clasificarse como: despreciable (menor de 1%), suave (entre 1% y 5%), media (entre 5% y 20%), alta (entre 20% y 50%) y pronunciada (mayor de 50%).

La cobertura vegetal de la cuenca puede clasificarse como: sin vegetación, cultivos, hierba, pastos y vegetación ligera, bosques y densa vegetación. Debe anotarse la posibilidad de quemas por conuqueros.

Los suelos pueden clasificarse según su permeabilidad en: permeables, semipermeables e impermeables.

II.2.3.4 Varios

Toda la información recabada, sea o no de interés aparente, deberá aparecer en el informe. Habrá casos donde deba hacerse referencia a la agresividad de los suelos en relación con la corrosión y otros donde se proporcione información relativa a materiales de construcción; en general, toda información debe ser registrada y sólo debe ser desechada después de un análisis completo de los datos.

II.2.3.5 Recomendaciones generales

Deben especificarse todos los trabajos de campo que tengan que realizarse para obtener un conocimiento adecuado del problema, tales como trabajos de topografía, estudios de suelos, levantamientos aerofotogramétricos, etc.

II.3 TRABAJOS DE TOPOGRAFIA

En general los trabajos de topografía incluyen plantas, perfiles longitudinales y secciones transversales de los cursos de agua más importantes, localización de las estructuras existentes, verificación de los levantamientos aerofotogramétricos y todos aquellos otros trabajos especificados en el informe de inspección.

II.3.1 Perfiles Longitudinales

El perfil longitudinal a lo largo de cualquier curso de agua debe permitir la determinación de las pendientes del cauce en el sitio de cruce. Se recomiendan unas longitudes mínimas de levantamiento de 150 metros aguas arriba y 100 metros aguas abajo para cauces de cierta importancia.

II.3.2 Plantas

Los planos de planta deben contener toda la información necesaria relativa a los cursos de agua y su extensión deberá ser tal, que incluya todos los puntos de interés como meandros, estructuras vecinas, etc., que puedan afectar la obra en cuestión.

II.3.3 Secciones transversales

Las secciones deben ser normales a la dirección del movimiento del agua y obtenerse tantas como sea necesario para determinar la sección natural del curso de agua en creciente. En las secciones transversales conviene anotar las marcas de crecientes pasadas.

CAPITULO III

HIDROLOGIA

III.1 GASTO DE DISEÑO

El gasto de diseño para las obras de drenaje de cuencas menores de 500 Has., será estimado siguiendo el conocido "Método Racional" y de acuerdo con la fórmula:

$$Q = C I A$$

Donde:

Q: es el gasto de diseño en litros/seg.

C: es el coeficiente de escorrentía que representa la relación entre el gasto máximo y la precipitación.

i: es la intensidad promedio de la lluvia cuya duración es igual al tiempo de concentración, y viene expresada en lts./seg./ha.

A: es el área de la cuenca contribuyente expresada en Has.

Para aplicar el "Método Racional" es preciso establecer previamente los valores de I, A y C, quedando limitada su aplicación a cuencas menores de 500 Has. Para cuencas mayores de 500 Has., el gasto de diseño deberá ser estimado en base a otros procedimientos y de acuerdo con la División de Hidrometeorología de la Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas.

III.2 INTENSIDAD DE LA LLUVIA (i)

Tal como aparece en el mapa anexo y en base a los datos disponibles, el país se ha dividido en dieciocho regiones con iguales características de precipitación; para cada una de esas regiones se ha preparado las curvas de intensidad-frecuencia-duración (Figuras III-1 a III-8).

Una vez ubicada la región, se procede a establecer la intensidad fijando previamente la frecuencia de diseño y la duración de la lluvia.

III.2.1 Frecuencia de diseño

La frecuencia de una creciente se define estadísticamente como el período promedio entre la ocurrencia de una creciente de cierta magnitud y la ocurrencia de otra igual o mayor y se expresa en años.

Para efectos de diseño, se recomienda que la frecuencia sea establecida en función de las características e importancia de la vía y del tipo de obra de drenaje, de acuerdo con la Tabla III-1.

TABLA III-1

TIPO DE OBRA DE DRENAJE	FRECUENCIA DE DISEÑO (años)			
	AUTOPISTAS		CARRETERAS	
	Urbanas Avenidas	Rurales	Tipo A y B	Tipo C y D
✓ Pontones	50	50	50	25
Alcantarillas de sección transversal mayor de 4 m. ²	50	25	25	10
Alcantarillas de sección transversal menor de 4 m. ²	25	25	15	10

NOTA: Los puentes deben ser objeto de estudio especial, pero se recomienda que en ningún caso la frecuencia de diseño sea menor de 50 años.

III.2.2 Duración de la lluvia

El "Método Racional" implica que la intensidad de la lluvia se determine cuando toda la cuenca está contribuyendo. Para los fines de este Manual, la duración de la lluvia de diseño será igual al tiempo de concentración.

III.2.2.1 Tiempo de concentración

El tiempo de concentración se define como el tiempo que dura el viaje de una gota de agua desde el punto más remoto de la cuenca hasta el sitio en consideración. Para su determinación se presentan dos métodos diferentes:

III.2.2.1.1 Utilizando el Monograma III-1, basado en experiencias norteamericanas sobre cuencas rurales. A partir de planos topográficos o por medición directa sobre el terreno se determina:

III.2.2.1.1.1 La longitud del cauce más largo "L" (metros).

III.2.2.1.1.2 La diferencia de elevación entre el punto más remoto de la cuenca y la salida de la misma "H" (metros).

III.2.2.1.2 Siempre y cuando se disponga de suficiente información, conviene aplicar un procedimiento más elaborado para determinar el tiempo de concentración. Se divide el cauce más largo en sectores de sección, longitud y pendiente conocidas y uniformes y se estima el tiempo de viaje en cada sector, aplicando la fórmula de Man-

ning para un gasto aproximado y tentativo (ver V.7.2.6). La suma de los tiempos de viaje parciales, indicará el tiempo que tarda en viajar el agua por el cauce definido, quedando por agregarle el tiempo que tarde el agua en concentrarse en el cauce escurriendo por las laderas, y el cual puede estimarse en base a las velocidades recomendadas en la Tabla III.2.

TABLA III-2

ESCURRIMIENTO POR LAS LADERAS VELOCIDADES (m/min.)			
PENDIENTE DE LAS LADERAS (%)	COBERTURA VEGETAL		
	Vegetación densa o cul- tivos	Pastos o vegetación ligera	Ninguna Vegetación
	0 — 5	25	40
5 — 10	50	70	120
10 — 15	60	90	150
15 — 20	70	110	180

NOTA: No se deberán considerar tiempos de concentración menores de cinco minutos.

III.3 COEFICIENTE DE ESCORRENTIA (C)

El coeficiente de escorrentía (c) depende de varios factores, entre los cuales este Manual considera los principales: la permeabilidad del suelo, la cobertura vegetal y la topografía.

III.3.1 Permeabilidad del suelo

La permeabilidad del suelo puede ser determinada a partir de estudios geológicos, muestreo e inspección directa, bien sea por uno solo de estos procedimientos o por una combinación de varios. A pesar de la reconocida heterogeneidad de los suelos, y de su amplio rango de permeabilidad, para los propósitos de este Capítulo del Manual, los suelos se han clasificado en tres tipos:

III.3.1.1 **Suelos impermeables:** Rocas, arcilla, limos arcillosos.

III.3.1.2 **Suelos semipermeables:** Arenas limosas, turba, arenas arcillosas, gravas finas con alto contenido arcilloso.

III.3.1.3 **Suelos permeables:** Gravas, arenas, suelos de alto contenido arenoso.

III.3.2 Cobertura vegetal

Los viajes aéreos de inspección, complementados con fotografías y mapas, resultan muy provechosos al tratar de establecer la cobertura vegetal de una cuenca. Para los propósitos de este capítulo del Manual, se han establecido cinco tipos de cobertura vegetal:

- III.3.2.1 **Ninguna vegetación.**
- III.3.2.2 **Cultivos.**
- III.3.2.3 Pastos y vegetación ligera.
- III.3.2.4 Hierba corta y grama.
- III.3.2.5 Bosques y vegetación densa.

Al considerar la cobertura vegetal debe tomarse en cuenta el futuro de la cuenca en referencia, estimándose cuando existan suficientes elementos de juicio, la cobertura vegetal futura si ella fuese a ocasionar un mayor escurrimiento. (Ver Foto III-8.)

III.3.3 Topografía

La pendiente de una zona puede ser establecida en base a los planos topográficos o durante los viajes de inspección, utilizando los métodos e instrumentos apropiados. Para los propósitos de este capítulo del Manual, se entiende como pendiente de una cuenca la pendiente superficial de las laderas y se distinguen cinco diferentes clases:

III.3.3.1 **Pendientes pronunciadas:** Mayores de 50%, tales como las que se aprecian en las serranías altas y en las montañas y colinas inclinadas.

III.3.3.2 **Pendientes altas:** Entre 20 y 50%, tales como las que se aprecian en las colinas.

III.3.3.3 **Pendientes medias:** Entre 5 y 20%, tales como las que se aprecian en las terrazas y mesetas inclinadas.

III.3.3.4 **Pendientes suaves:** Entre 1 y 5%, tales como las que se aprecian en las altiplanicies y valles de aluvión.

III.3.3.5 **Pendientes despreciables:** Menores de 1%, tales como las que se aprecian en los llanos.

III.3.4 Determinación del coeficiente de escorrentía

Generalmente las cuencas hidrográficas presentan una gran variedad de suelos, coberturas vegetales y pendientes. El procedimiento recomendado para determinar el coeficiente de escorrentía, consiste en obtener un promedio ponderado de los coeficientes parciales de cada una de las zonas, tal como se expone a continuación:

III.3.4.1 Se divide la cuenca en zonas homogéneas en lo que se refiere a tipo de suelo, cobertura vegetal y pendiente.

III.3.4.2 En base a los valores que aparecen en la Tabla III-3, se establece la magnitud del coeficiente de escorrentía para cada una de las zonas homogéneas ya mencionadas. Con fines de referencia, se anexan las fotografías de coberturas vegetales variadas (III-15 al III-20), las cuales ya han sido clasificadas según su coeficiente de escorrentía.

III.3.4.3 El valor del coeficiente de escorrentía resulta del promedio ponderado de todos los coeficientes anteriormente determinados para cada una de las zonas homogéneas en que se dividió la cuenca total.

III.4 AREA DE LA CUENCA

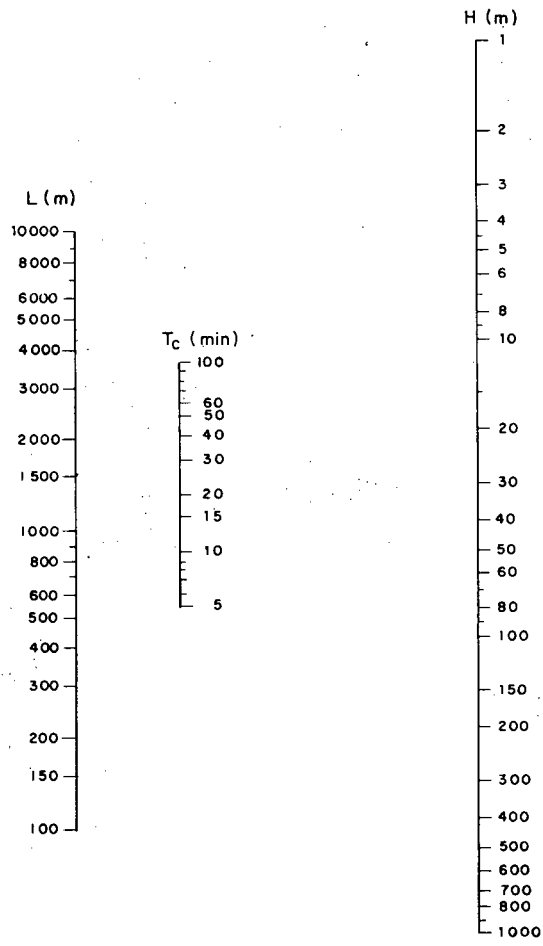
La extensión de una cuenca hidrográfica se considera como la proyección de la superficie terrestre, aguas arriba del punto en consideración, sobre un plano horizontal. Ordinariamente el área se mide sobre planos topográficos donde se ha establecido previamente la divisoria de aguas.

COEFICIENTE DE ESCORRENTIA C						
COBERTURA VEGETAL	TIPO DE SUELO	PENDIENTE DEL TERRENO				
		PRONUNCIADA	ALTA	MEDIA	SUAVE	DESPRECIABLE
SIN VEGETACION	IMPERMEABLE	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
	SEMIPERMEABLE	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	PERMEABLE	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
CULTIVOS	IMPERMEABLE	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	SEMIPERMEABLE	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	PERMEABLE	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
PASTOS VEGETACION LIGERA	IMPERMEABLE	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	SEMIPERMEABLE	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	PERMEABLE	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
HIERBA, GRAMA	IMPERMEABLE	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	SEMIPERMEABLE	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
	PERMEABLE	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
BOSQUES DENSA VEGETACION	IMPERMEABLE	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	SEMIPERMEABLE	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
	PERMEABLE	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05

NOTA. Para zonas que se espera puedan ser quemadas se deben aumentar los coeficientes así:

Cultivos: multiplicar por 1,10

Hierba, Pastos y vegetación ligera, Bosques y densa vegetación: multiplicar por 1,30



$$T_c = \left(\frac{3,6 \times 10^{-5} L^3}{H} \right)^{0,385}$$

$$T_c = 0,0195 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad (\text{Calif. Culv. Practice})$$

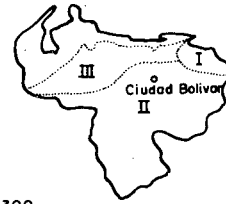
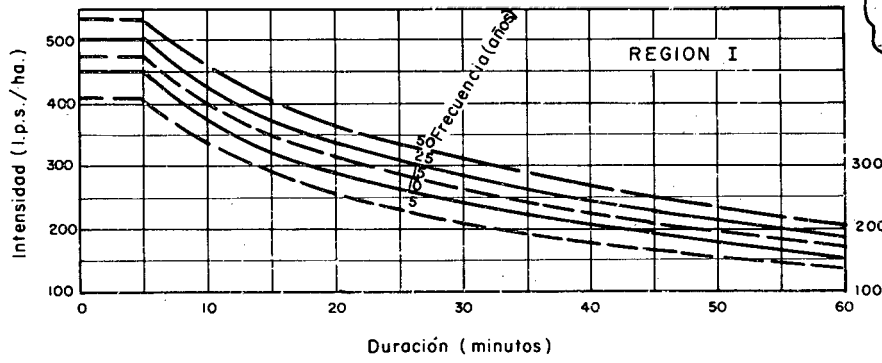
T_c = Tiempo concentración (min)

L = Longitud del cauce principal (m)

H = Diferencia de elevación (m)

NOMOGRAMA III - 1
TIEMPO DE CONCENTRACION

35



REGIONES I, II, III

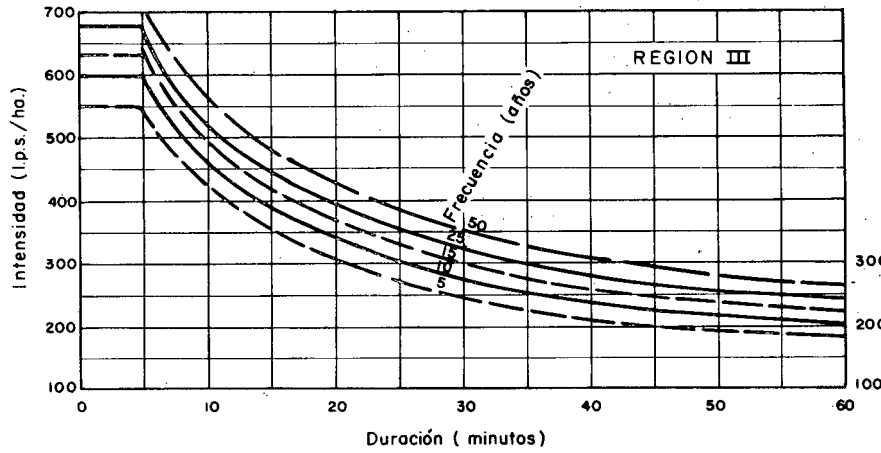
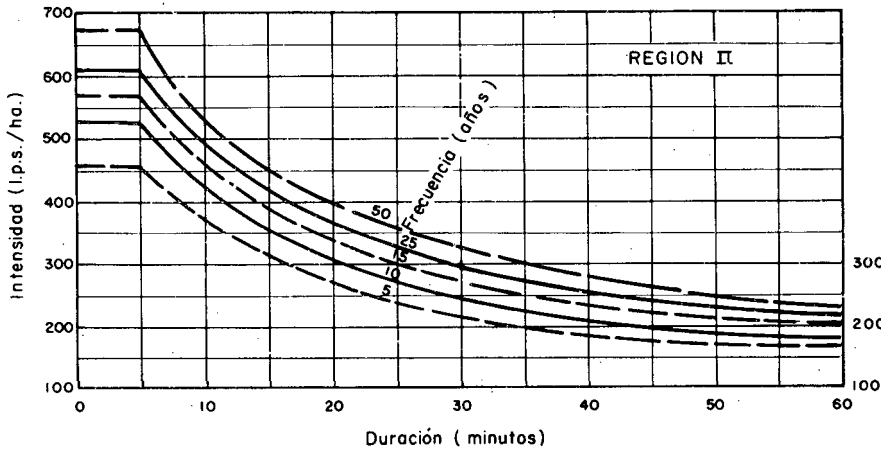
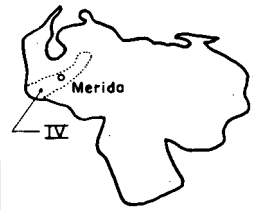


FIGURA III - 1
PRECIPITACION
Curvas intensidad - frecuencia - duración



REGION IV

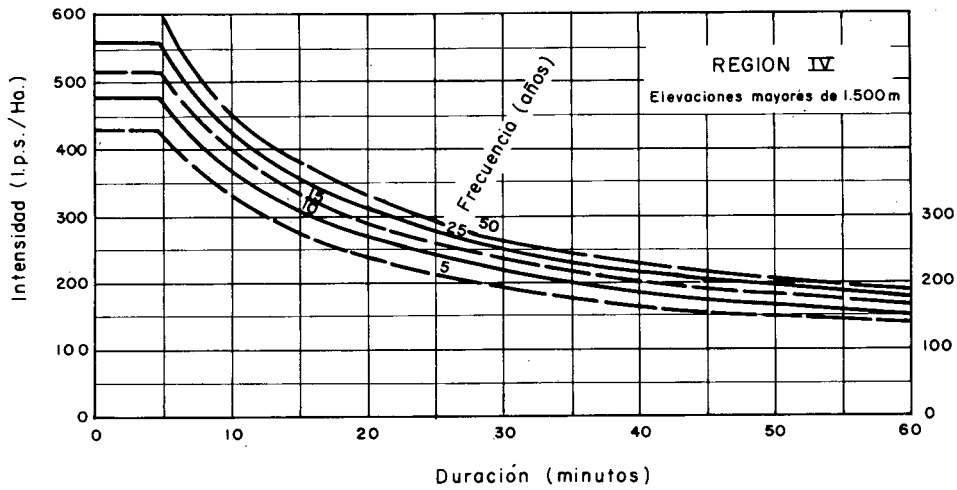
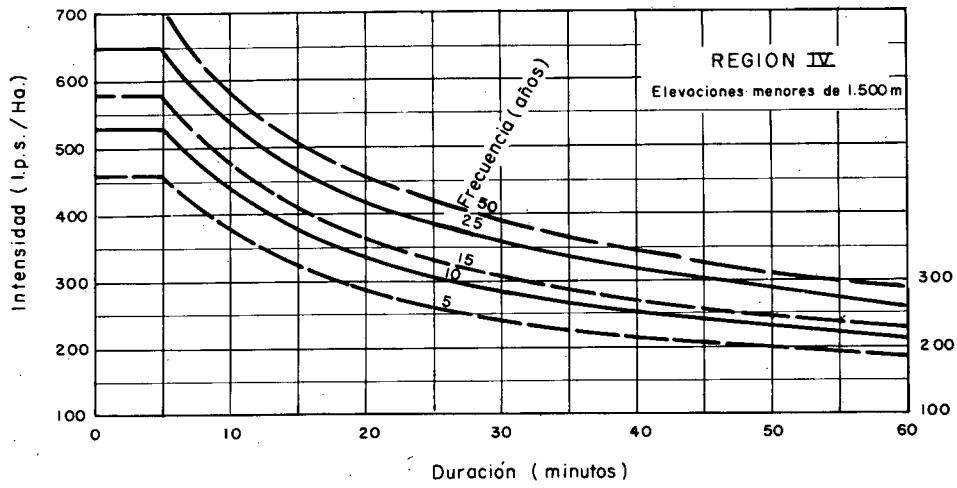
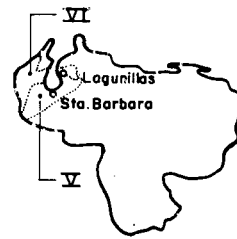


FIGURA III - 2

PRECIPITACION

Curvas intensidad - frecuencia - duración



REGIONES V, VI

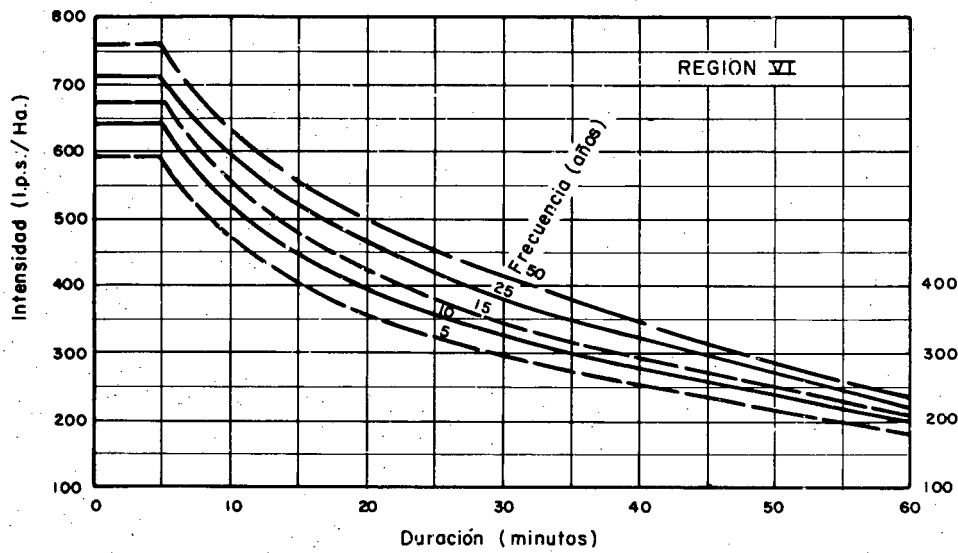
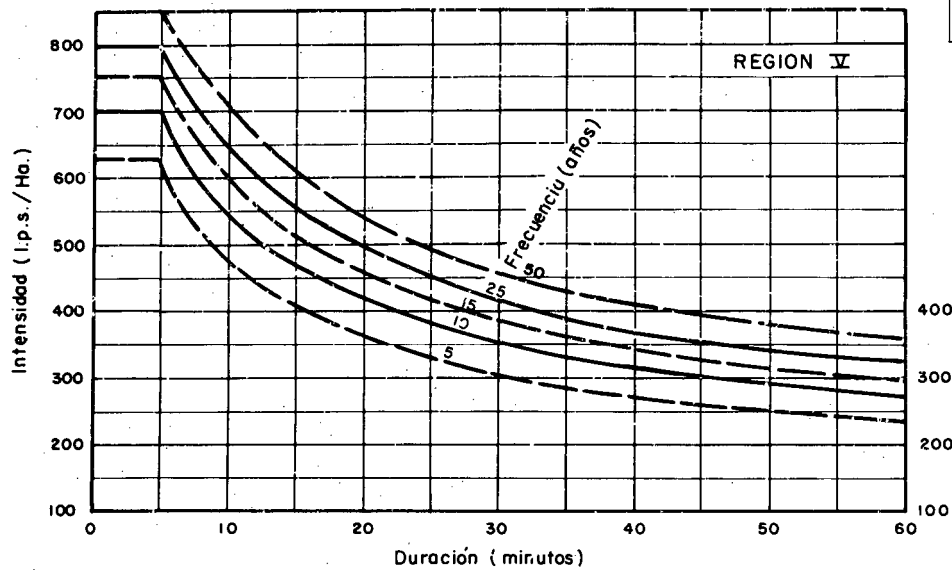


FIGURA III - 3

PRECIPITACION

Curvas intensidad - frecuencia - duración

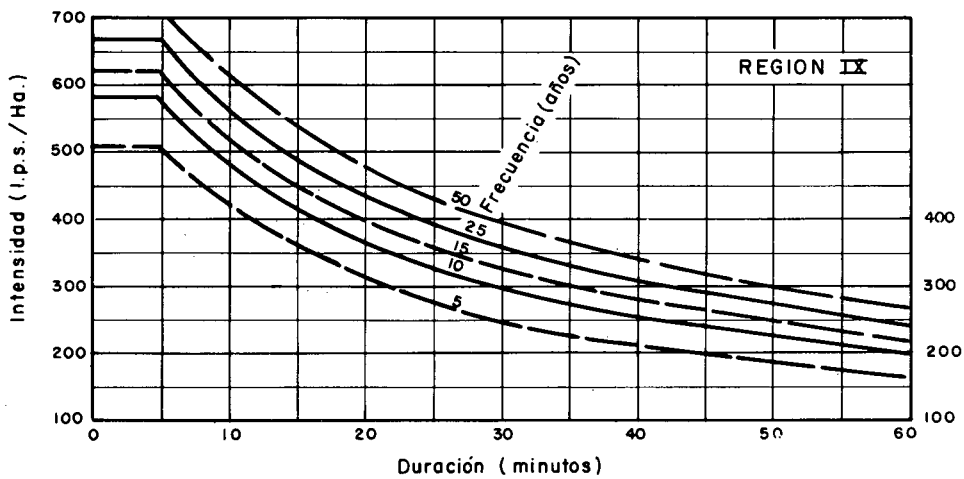
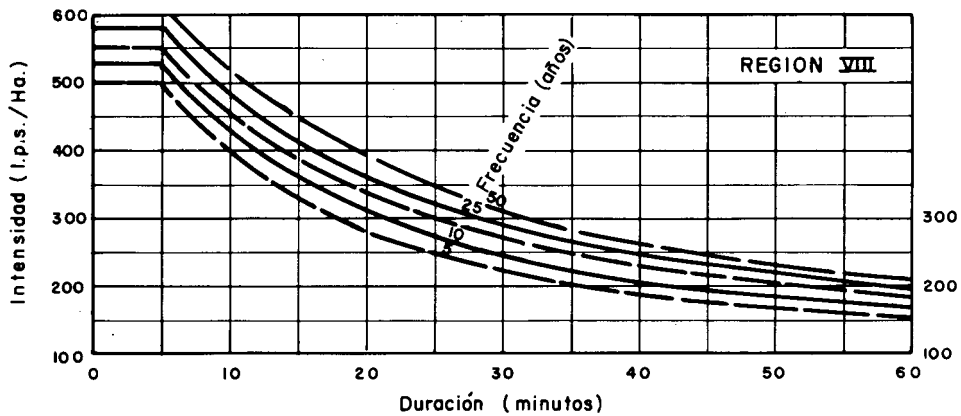
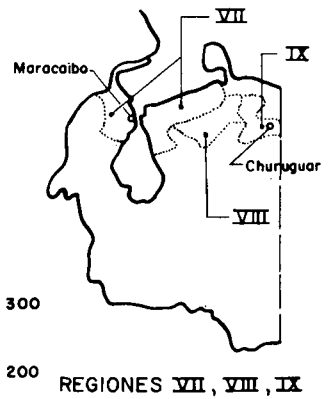
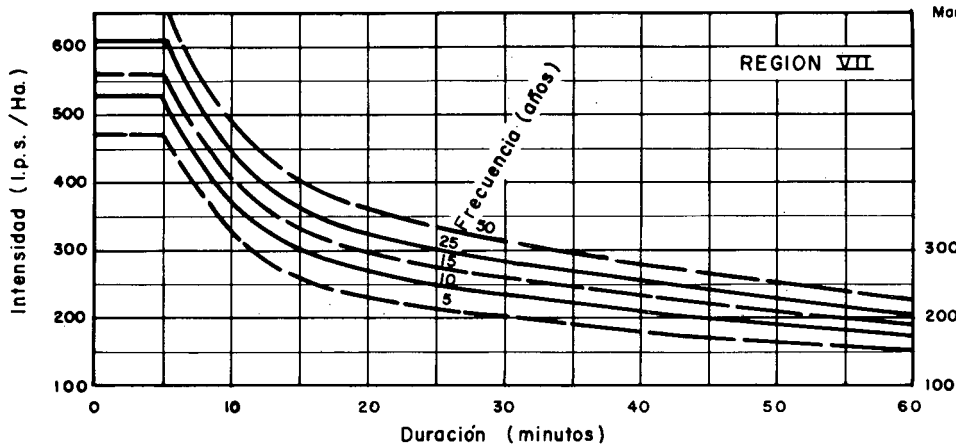
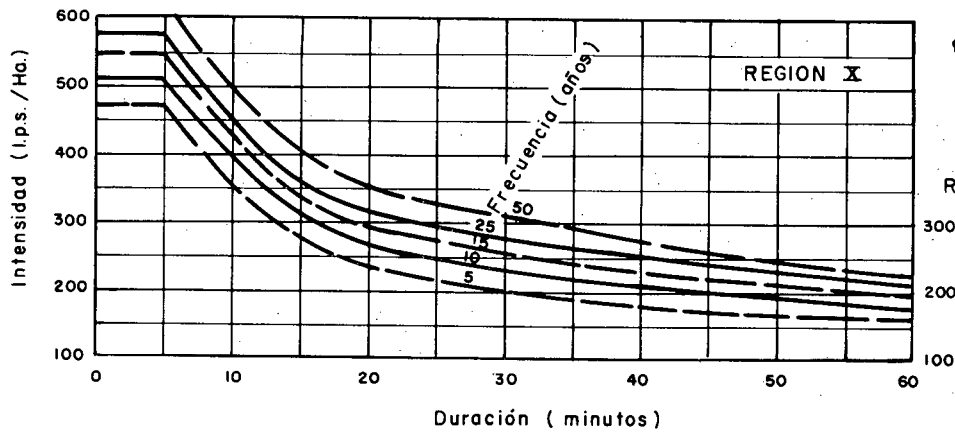
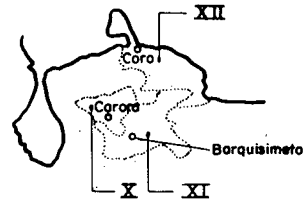


FIGURA III - 4
 PRECIPITACION
 Curvas intensidad - frecuencia - duración



REGIONES X, XI, XII

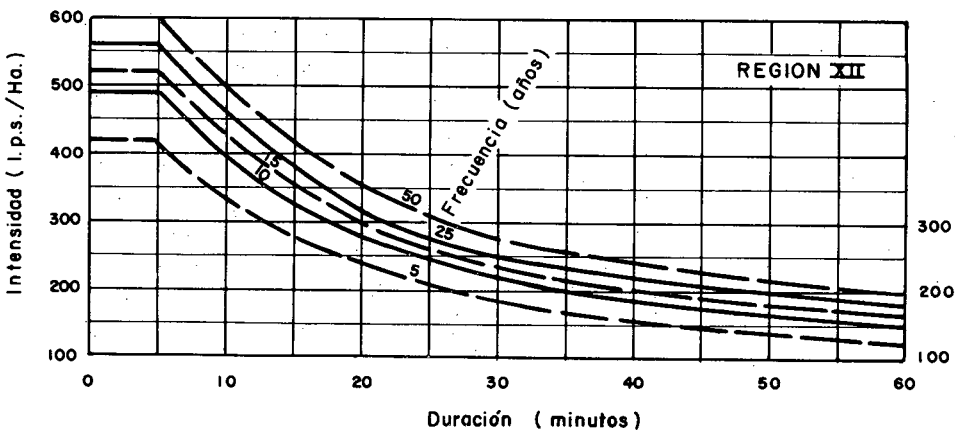
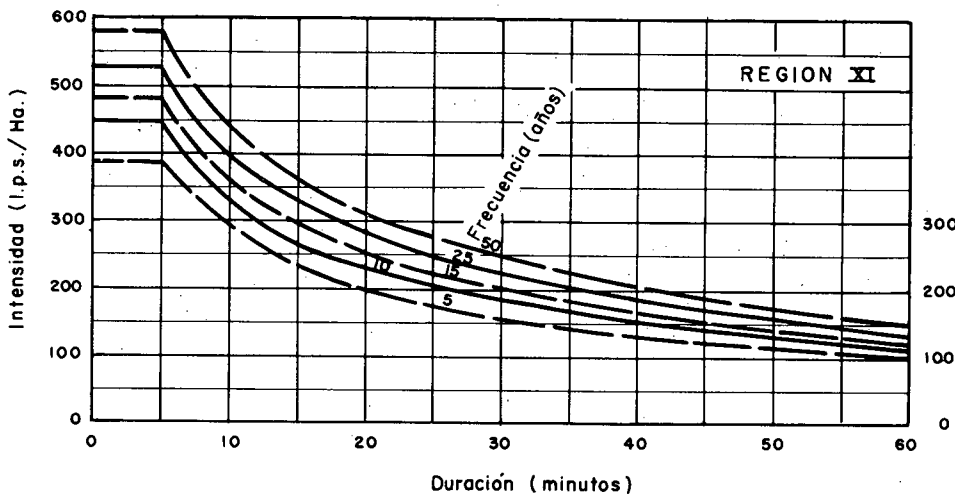


FIGURA III - 5
PRECIPITACION
Curvas intensidad - frecuencia - duración

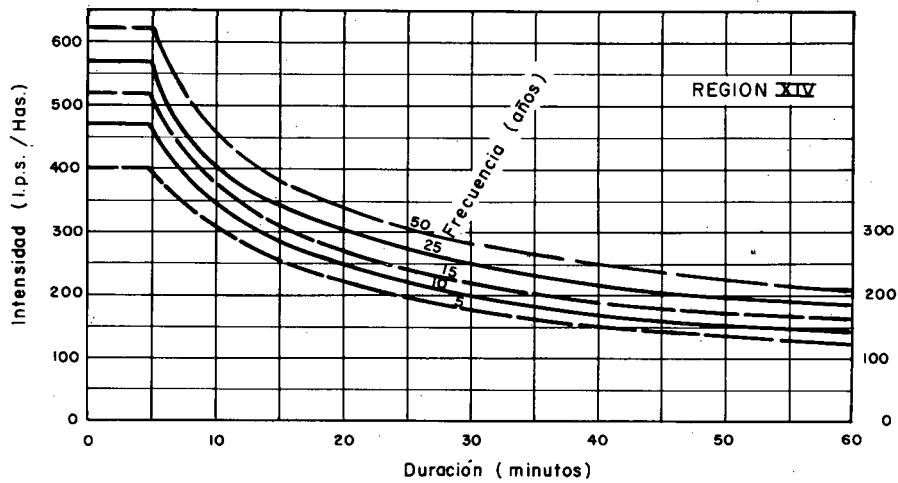
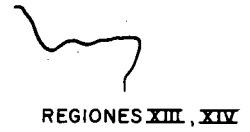
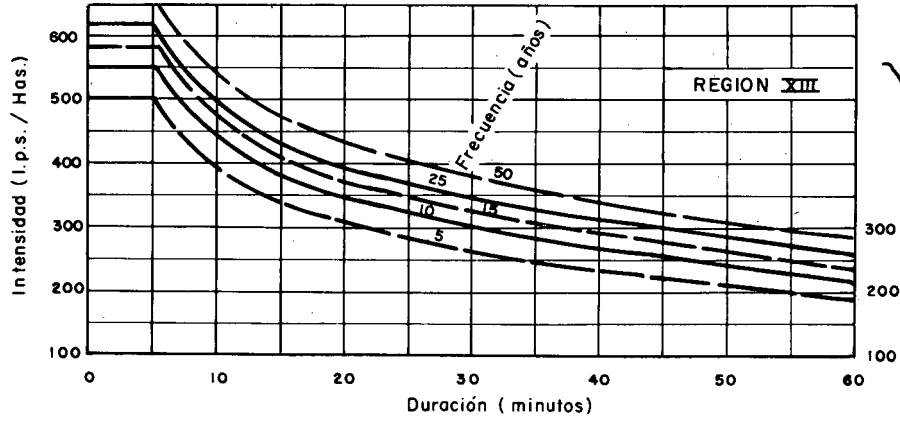
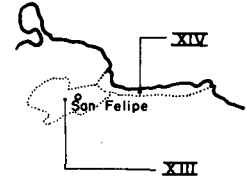


FIGURA III - 6
 PRECIPITACION
 Curvas intensidad - frecuencia - duración

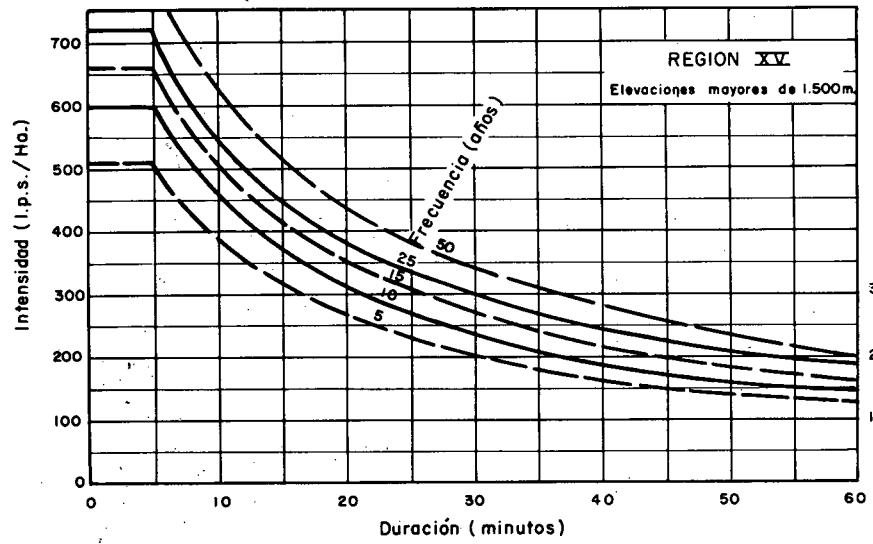
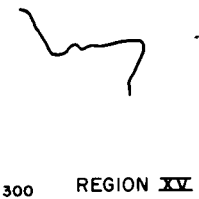
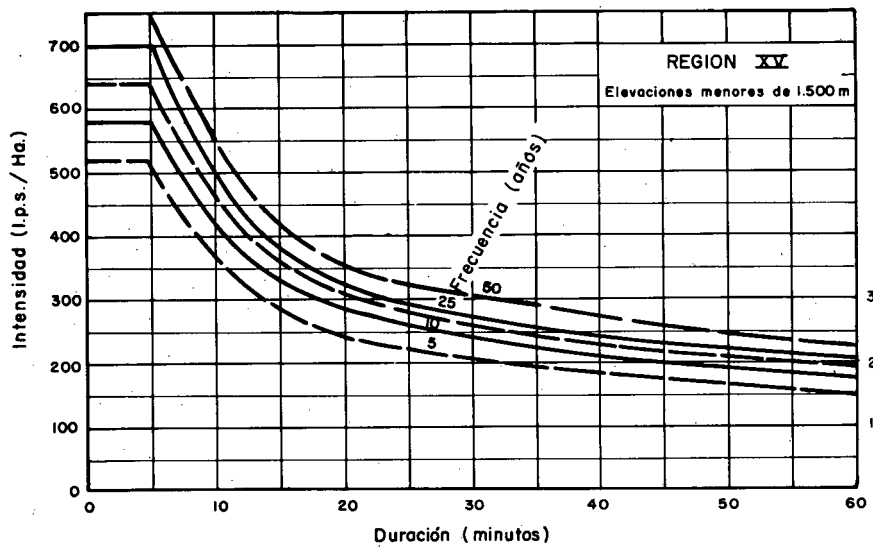
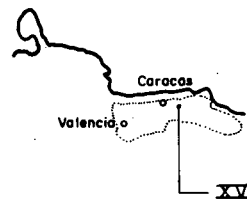
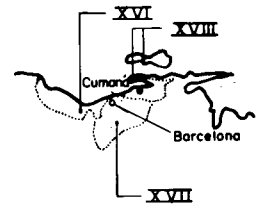
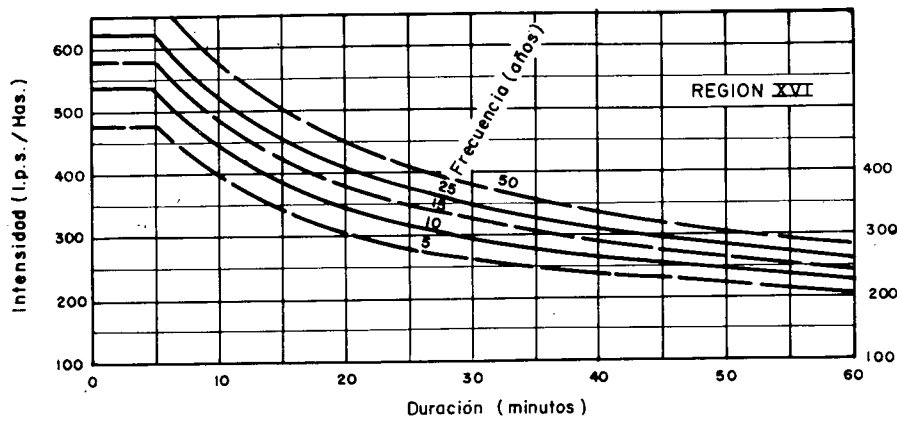


FIGURA III - 7
PRECIPITACION
Curvas intensidad - frecuencia - duración



REGIONES
XVI, XVII, XVIII

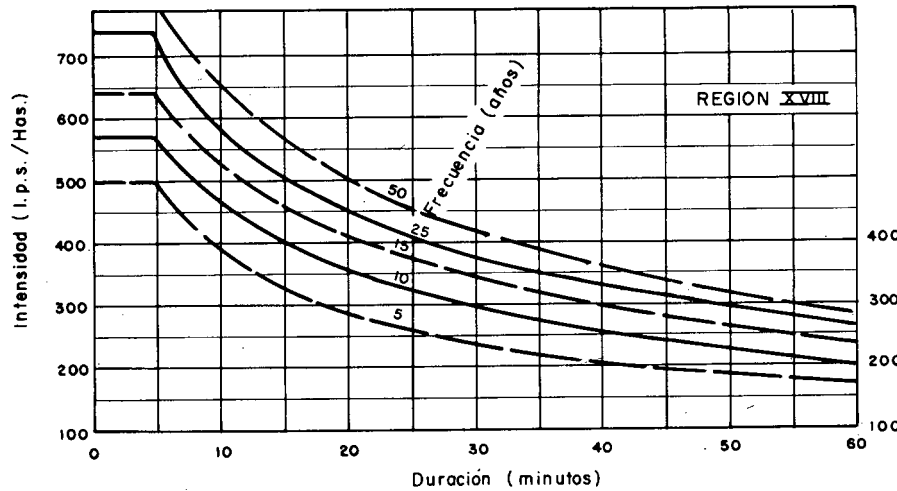
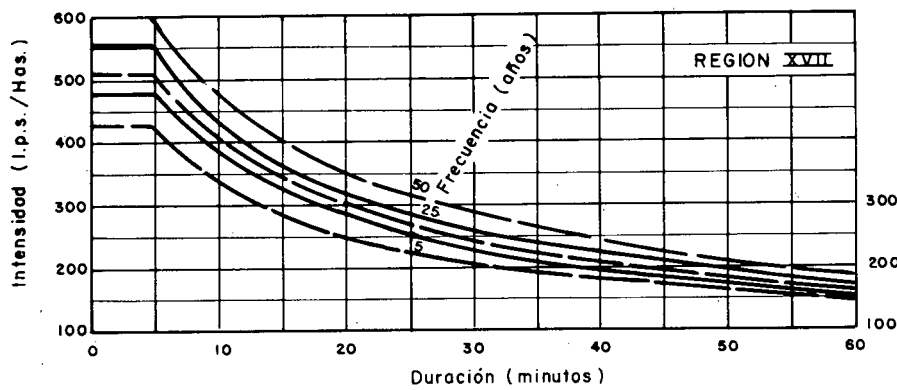
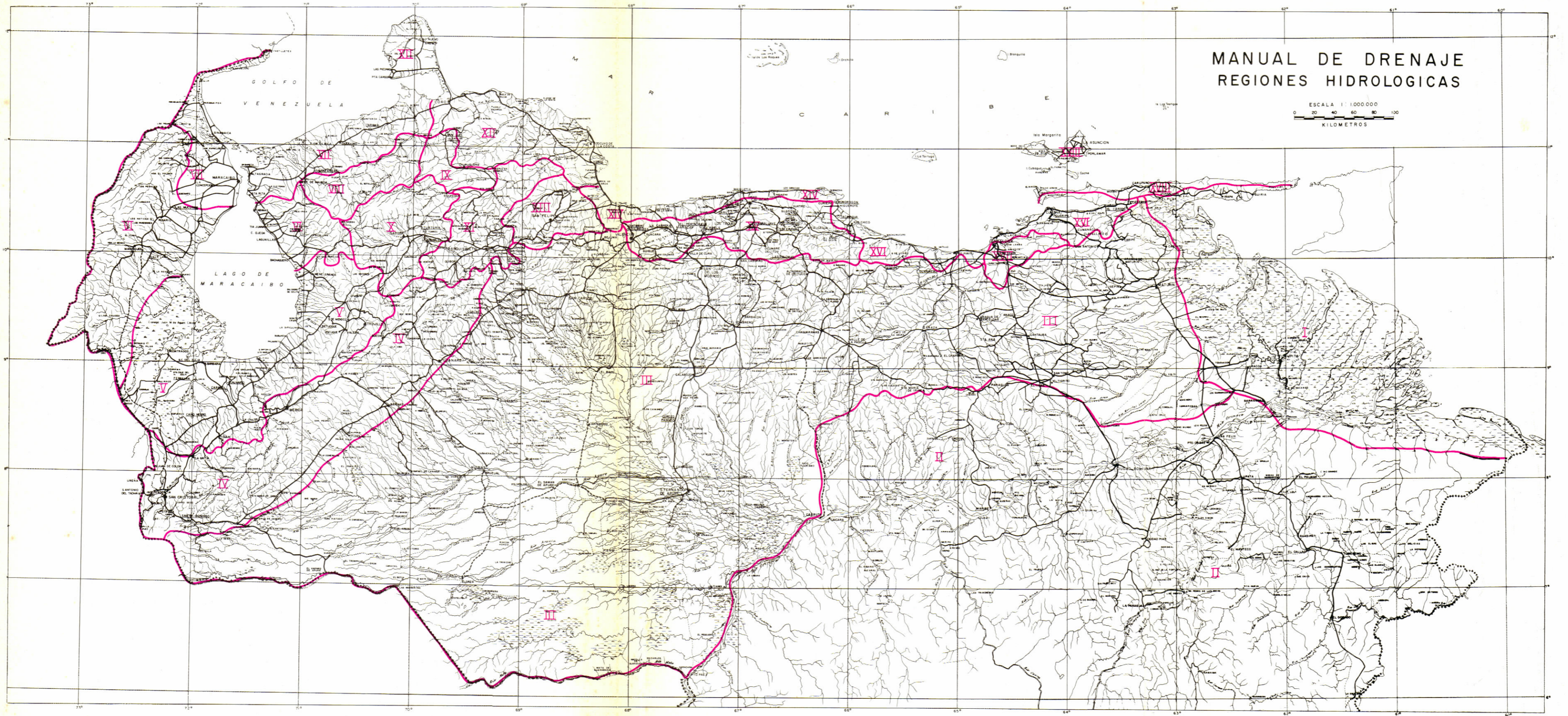


FIGURA III - 8
PRECIPITACION
Curvas intensidad - frecuencia - duración



MANUAL DE DRENAJE REGIONES HIDROLOGICAS

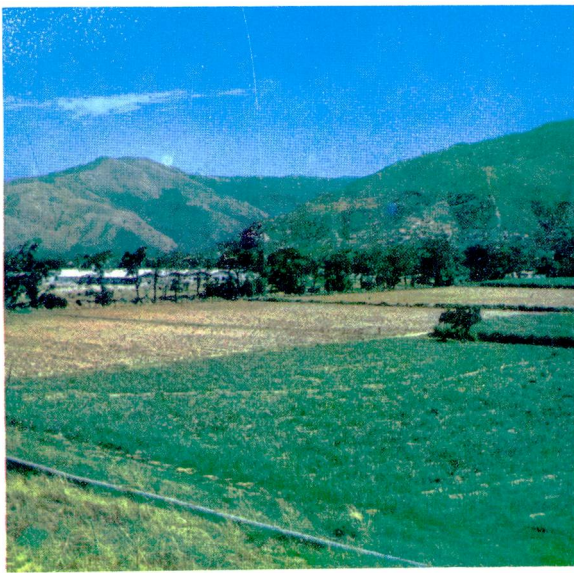
ESCALA 1:1.000.000
0 20 40 60 80 100
KILOMETROS



III-1 Zona sin vegetación y con pendiente suave. Obsérvense las pequeñas cárcavas que propician una más rápida concentración de las aguas.



III-2 Zona sin vegetación y con pendiente pronunciada. La deforestación efectuada por los conuqueros, aumenta la escorrentía y suministra material de arrastre. La falta de cobertura vegetal propicia la erosión.



III-3 Zona de cultivos con pendiente despreciable. El sistema de siembra contribuye a retardar la escorrentía.



III-4 Zona de cultivos con pendiente suave. El sistema de siembra contribuye a acelerar la escorrentía. Obsérvense en primer plano los restos de vegetación quemada arrastrados por las aguas.



III-5 Zona cubierta de pastos y con pendiente despreciable.



III-6 Zona cubierta de pastos y con pendiente alta.



III-7 Las cimas están cubiertas de hierba y tienen pendiente pronunciada; el resto tiene pendiente alta y está cubierto de pastos y vegetación ligera.



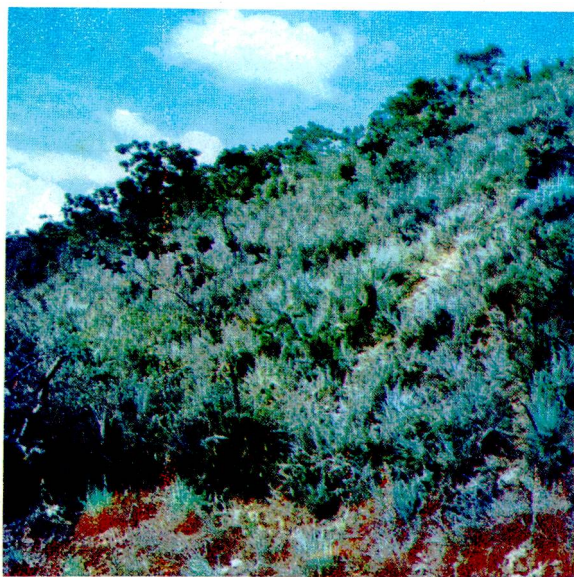
III-8 Zona quemada y con pendiente alta. Es de notar la escasa protección que tienen los suelos y la cantidad de residuos susceptibles de ser arrastrados.



III-9 Vegetación xerofítica. Obsérvese lo erosionable de los suelos.



III-10 Zona con pendiente despreciable cubierta de malezas y césped.



III-11 Zona cubierta de hierba y con pendiente alta.



III-12 Zona cubierta de hierba y con pendiente pronunciada.



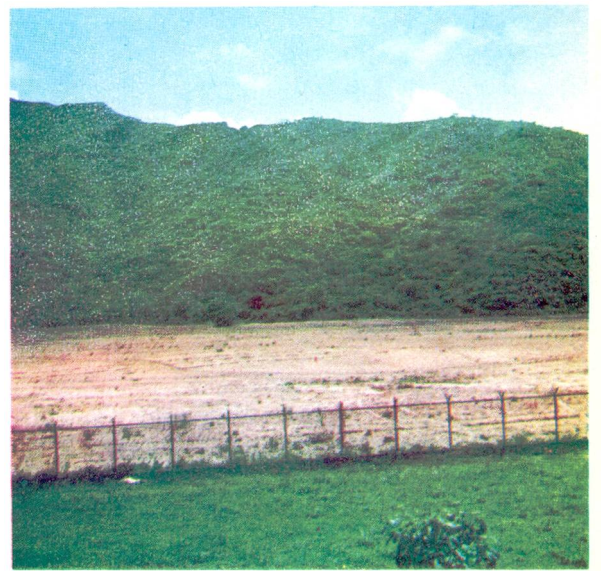
III-13 Zona cubierta de densa vegetación y con pendiente despreciable.



III-14 Zona cubierta de densa vegetación y con pendiente alta.



III-15 Cobertura vegetal variada, suelo semi-permeable.
 Cultivos, pendiente suave 50%
 Cultivos incipientes, pendiente media 5%
 Hierba, pendiente alta 30%
 Densa vegetación, pendiente media 15%
 Coeficiente de escorrentía $C=0,44$



III-16 Cobertura vegetal variada, suelo semi-permeable.
 Densa vegetación, pendiente pronunciada 30%
 Densa vegetación, pendiente alta 15%
 Sin vegetación, pendiente despreciable 50%
 Hierba, pendiente despreciable 5%
 Coeficiente de escorrentía $C=0,46$



III-17 Zona quemada, originalmente cubierta de densa vegetación. Suelo semipermeable, pendiente pronunciada. Coeficiente de escorrentía $C=0,45 \times 1,30=0,59$.



III-18 Cobertura vegetal variada, suelo semipermeable
 Hierba, pendiente pronunciada 30%
 Pastos, pendiente alta 20%
 Pastos, pendiente suave 50%
 Coeficiente de escorrentía $C=0,45$



III-19 Cobertura vegetal variada, suelo semipermeable
 Hierba, pendiente pronunciada 30%
 Densa vegetación, pendiente media 25%
 Cultivos, pendiente despreciable 40%
 Hierba, pendiente despreciable 5%
 Coeficiente de escorrentía $C=0,41$



III-20 Cobertura vegetal variada, suelo semipermeable
 Densa vegetación, pendiente pronunciada 40%
 Cultivos, pendiente suave 30%
 Cultivos (conucos), pendiente pronunciada 10%
 Pastos, pendiente suave 20%
 Coeficiente de escorrentía $C=0,46$

CAPITULO IV

DISEÑO DE LAS ALCANTARILLAS

IV.1 INTRODUCCION

Las carreteras generalmente cruzan los cauces naturales de drenaje; por lo tanto, es necesario construir obras adecuadas que permitan el paso de las aguas y aseguren el funcionamiento de la vía, con costos razonables de mantenimiento. Estas obras son fundamentalmente las alcantarillas y los puentes.

El diseño hidráulico de las alcantarillas deberá ser realizado en función de las características de la hoya a ser drenada y de la vía a ser servida. Como los sistemas de drenaje inciden sobre el costo de conservación y mantenimiento de las carreteras, también es necesario que las alcantarillas sean proyectadas considerando que su funcionamiento deberá estar acorde con las limitaciones impuestas por los sistemas y métodos de mantenimiento.

Además de las condiciones de conservación y mantenimiento, un diseño integral de las alcantarillas deberá considerar la forma de las entradas y salidas con el fin de evitar la erosión de los cauces y terrenos naturales, la accesibilidad de la obra en construcción, la resistencia del terreno de fundación para las condiciones de carga, la posibilidad de prolongar la estructura para el caso del ensanche de la vía, las ventajas económicas que pudieran derivarse de una normalización del tipo de estructuras y otros factores que ocasionalmente pudieran incidir en los costos y por consiguiente en la decisión final como última etapa del diseño.

IV.2 RECOMENDACIONES GENERALES

IV.2.1 Diámetros mínimos

Por razones de mantenimiento, el diámetro mínimo recomendable es de 91 centímetros (36") para todas aquellas alcantarillas que crucen carreteras de importancia. Donde exista la posibilidad de obstrucción por sedimentos y arrastres y de acuerdo con la longitud de la alcantarilla, se recomienda como diámetro mínimo 1.22 m. (48"), ó 1.52 m. (60"). Para carreteras secundarias y sólo cuando sea justificable, el diámetro mínimo no deberá ser menor de 61 cms. (24"), ni menor de 46 cms. (18") en caminos o vías de acceso.

IV.2.2 Carga permisible a la entrada (HEP)

La carga de agua a la entrada de la alcantarilla (HE) se considerará como la profundidad de agua medida hasta la rasante de la alcantarilla. La carga permisible (HEP), se determina como la menor de las establecidas según los criterios siguientes:

IV.2.2.1 Un borde libre mínimo de 0.40 m. hasta el nivel de la subrasante.

IV.2.2.2 Evitar en lo posible inundaciones de las propiedades aguas arriba de la alcantarilla.

IV.2.2.3 La carga en la entrada no debe ser mayor de 1.2 veces la altura de la sección.

IV.2.3 Velocidades permisibles a la salida de las alcantarillas para evitar la erosión del terreno.

Las velocidades permisibles dependen de la constitución del terreno (véase la Tabla siguiente). Cuando la alcantarilla se ubica fuera del cauce natural hay que considerar el caso bastante común, de que aguas abajo de la salida de la alcantarilla la pendiente del terreno pueda aumentar la velocidad de las aguas hasta producir erosiones considerables, en cuyo caso hay que considerar el control de la velocidad mediante obras diseñadas a tal efecto.

VELOCIDADES MAXIMAS RECOMENDABLES EN CANALES NO REVESTIDOS

TIPO DE SUELO	VELOCIDADES EN m./s.
Arena fina - no coloidal	0.75
Greda arenosa - no coloidal	0.75
Greda limosa - no coloidal	0.9
Greda firme	1.0
Grava fina	1.2
Arcilla dura - muy coloidal	1.4
Limos aluvionales - coloidales	1.4
Limos aluvionales - no coloidales	0.9
Materiales gradados - no coloidales:	
Greda a grava	1.4
Limo a grava	1.6
Esquisto arcilloso	1.8
Grava	1.8
Grava gruesa	2.0
Grava a cantos rodados	2.3

IV.2.4 Velocidades máximas y mínimas

Serán función del gasto de diseño y de las características del drenaje. En general, no se deben tener velocidades mayores que las siguientes:

IV.2.4.1 Alcantarillas de concreto

IV.2.4.1.1 7 m./s. cuando la corriente no arrastra materiales abrasivos como arenas gruesas, granzón, piedras, etc.

IV.2.4.1.2 5 m./s. cuando haya evidencias de que el material arrastrado sea del tipo descrito en el aparte anterior.

IV.2.4.2 Alcantarillas metálicas

IV.2.4.2.1 6 m./s. cuando la corriente no arrastra materiales abrasivos como arenas gruesas, granzón, piedras, etc.

IV.2.4.2.2 3.5 m./s. cuando haya evidencias de que el material arrastrado sea del tipo descrito en el aparte anterior.

IV.2.4.3 Velocidades mínimas

A fin de evitar la deposición de los acarreos dentro de las alcantarillas, las velocidades no deben ser menores de 1 m./s. Por la misma razón se debe evitar reducir la velocidad del cauce natural al entrar a la alcantarilla.

IV.2.5 Arrastres

Al escurrir hacia los cauces naturales, las aguas pluviales arrastran materiales orgánicos e inorgánicos. El volumen de los arrastres puede llegar a representar una proporción apreciable del gasto líquido propio de la hoya y dependerá de las características de la hoya, tales como: la estructura de sus suelos, la cobertura vegetal, las pendientes de los terrenos y la acción devastadora de la mano del hombre.

Al diseñar alcantarillas no basta con proporcionar suficiente sección para el libre paso de las aguas; también hay que considerar el volumen probable de arrastres que lleva cada cauce en particular. Prueba de ello son las —por desgracia frecuentes— obstrucciones de alcantarillas, ocasionadas por la deposición de sedimentos y por la presencia de ramas, árboles y otros residuos vegetales. Para gastos menores que el de diseño estas obstrucciones pueden producir inundaciones, poniendo en peligro la estabilidad del terraplén, causando daños a las propiedades vecinas y aumentando los costos de mantenimiento.

En general, resultaría oneroso dimensionar las alcantarillas para que sean capaces de pasar el gasto líquido y el gasto sólido; casi siempre resulta más conveniente adoptar ciertas medidas tendientes a evitar deposición de arrastres a la entrada de las alcantarillas. Algunas de estas medidas serían las siguientes:

IV.2.5.1 Asegurar mediante obras de canalización, aguas arriba de la alcantarilla, y por el diseño mismo de las alcantarillas, la no existencia de transiciones que propicien la deposición del material.

IV.2.5.2 Asegurar velocidades mínimas que dificulten la deposición del material acarreado. Estas velocidades deben ser mayores, o al menos iguales a las que se producen en el cauce natural para cualquier gasto.

IV.2.5.3 Durante la construcción de la carretera no se deben permitir, aguas arriba de las alcantarillas, trabajos provisionales que perturben los suelos, tales como los caminos de acceso y los pasos de máquinas de un "corte" a otro; ellos serán, seguramente, una fuente permanente de producción de sedimentos. En aquellos casos en los cuales sea imposible evitar trabajos de este tipo, debe realizarse una intensa reforestación tan pronto como sea posible.

IV.2.5.4 No se debe permitir bajo ningún concepto, el bote incontrolado del material sobrante en zonas que queden aguas arriba de las alcantarillas; se debe escoger sitios confinados y exigir una compactación primaria del material de bote, a base del paso de equipo de movimiento de tierra, por ejemplo. Es muy importante reforestar tan pronto como sea posible.

IV.2.5.5 Una vez terminados los trabajos de movimiento de tierra, se debe proceder de inmediato a ejecutar los trabajos siguientes:

IV.2.5.5.1 Canalización de los cauces.

IV.2.5.5.2 Reforestación de terraplenes y de zonas erosionables en las hoyas.

IV.2.5.5.3 Estabilización de los cauces erosionados, controlando su velocidad y por lo tanto su capacidad de arrastre mediante gaviones, torrenteras, etc.

IV.2.5.6 En los cauces donde se presenten posibilidades de arrastres de sedimentos en cantidades que pongan en peligro la capacidad de las alcantarillas, se debe proteger la entrada de las mismas con "trampas" de sedimentos, con capacidad suficiente y adaptadas a las necesidades del sitio. Estas trampas serían tanquillas o pequeños embalses que servirían para retener los sedimentos. Obras de este tipo requieren una inspección cuidadosa y un mantenimiento permanente para que puedan cumplir a cabalidad su objetivo.

IV.2.5.7 En los cauces que puedan transportar materiales flotantes tales como troncos y ramas de árboles o arbustos, de un tamaño tal que pongan en peligro el funcionamiento de la alcantarilla, se sugiere la construcción de barreras y deflectores

cuya separación vertical no exceda la mitad del ancho de la alcantarilla, y también de elementos como muros o pilas que tiendan a dirigir los objetos flotantes en dirección paralela al eje de la alcantarilla. Obras de este tipo requieren una inspección y un mantenimiento constante para que puedan cumplir a cabalidad su objetivo. Su diseño depende de cada problema en particular, y por lo tanto, sólo a título de ejemplo se presentan algunos esquemas de estas estructuras, en las Láminas IV-1 a IV-4.

IV.2.6 Condiciones de entrada y salida

En las alcantarillas las características de la entrada afectan la capacidad de drenaje de las mismas, porque las pérdidas de carga varían con dichas características (ver Tabla IV-1). Es conveniente que la sección de entrada de la alcantarilla sea normal al eje de la corriente y que las aletas y cabezales estén alineados con respecto a éste.

Siempre que sea posible y especialmente cuando los gastos son de consideración, se deben proyectar obras especiales, tales como canales de concreto y transiciones alabeadas para evitar contracciones bruscas. Los cabezales, las aletas, las obras de canalización y las transiciones aguas arriba de la entrada, mejoran la capacidad de las alcantarillas.

En general, es conveniente que los canales tengan el ancho de las alcantarillas o de los cajones, o al menos transiciones tan suaves como sea posible, y también que no se produzcan cambios fuertes de la pendiente inmediatamente aguas arriba de la entrada.

En zonas planas y especialmente donde los agregados del concreto no se consiguen, es factible prescindir de cabezales y aletas en las alcantarillas tubulares cuando las velocidades de las corrientes son bajas y no existe peligro de erosión para el terraplén o el terreno. En estos casos las alcantarillas se proyectarán fuera del pie del terraplén, a una distancia mínima de medio diámetro a la entrada y de una vez el diámetro a la salida.

No se recomienda biselar los tubos metálicos con el fin de adaptarlos a la pendiente del talud, ni utilizar entradas con muros en forma de U, porque su eficiencia hidráulica es menor que la de otros tipos.

En general, las condiciones a la salida serán función del terreno aguas abajo, de los cauces existentes y de las posibilidades de producir erosión (ver párrafo IV-8) y las obras deberán ser proyectadas con este criterio y no tienen necesariamente que ser idénticas a la obras de entrada, ya que cumplen funciones opuestas.

IV.2.7 Profundidades mínimas y máximas de alcantarillas

Los valores recomendados a continuación, suponen el uso de un material de relleno seleccionado y bien compactado y son referidos al nivel de la subrasante:

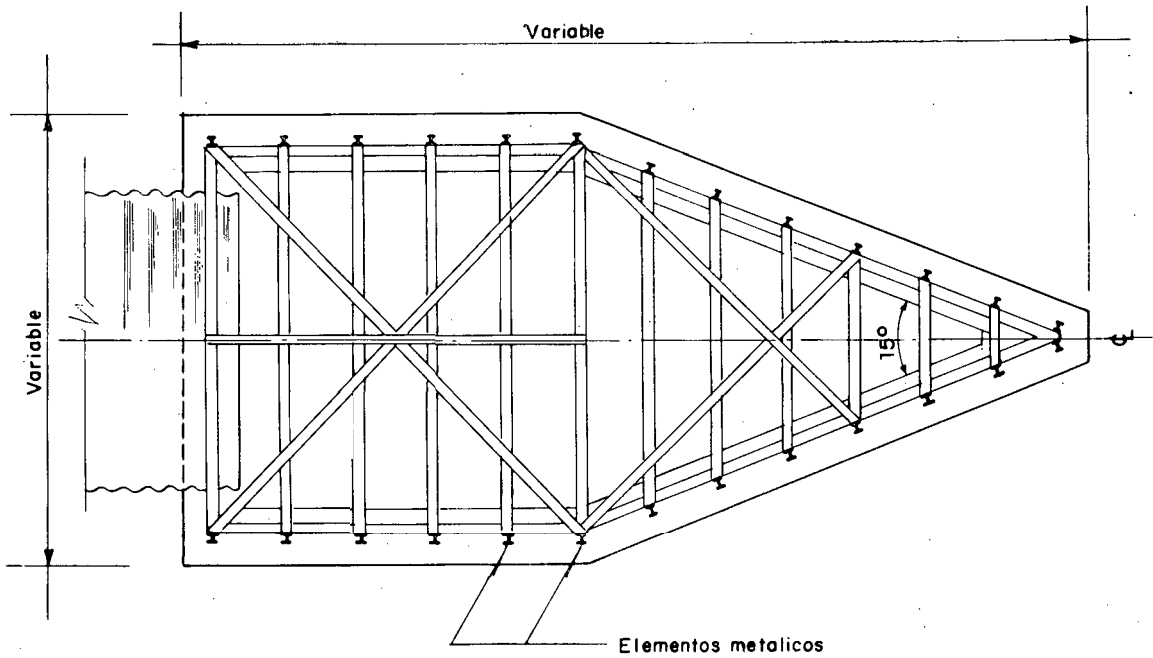
IV.2.7.1 Tubos de concreto

IV.2.7.1.1 Profundidad mínima (relleno mínimo): 0.50 m.

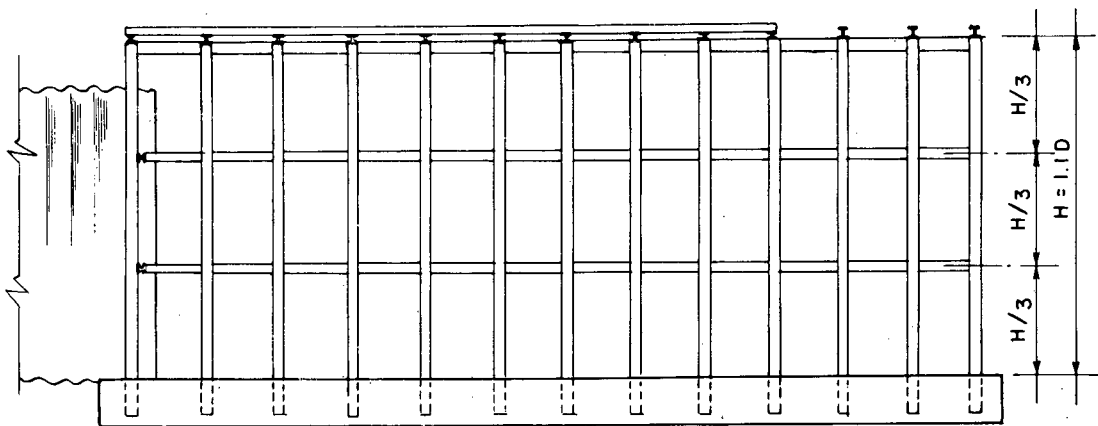
IV.2.7.1.2 Profundidad máxima: Consultar las normas para la fabricación de tubos de concreto para cloacas INOS (1965) y considerar las condiciones del sitio para facilitar la conservación y mantenimiento de la alcantarilla.

IV.2.7.2 Cajones de concreto

IV.2.7.2.1 Profundidad mínima: Consultar el Manual de Diseño de la Dirección de Vialidad del M.O.P.

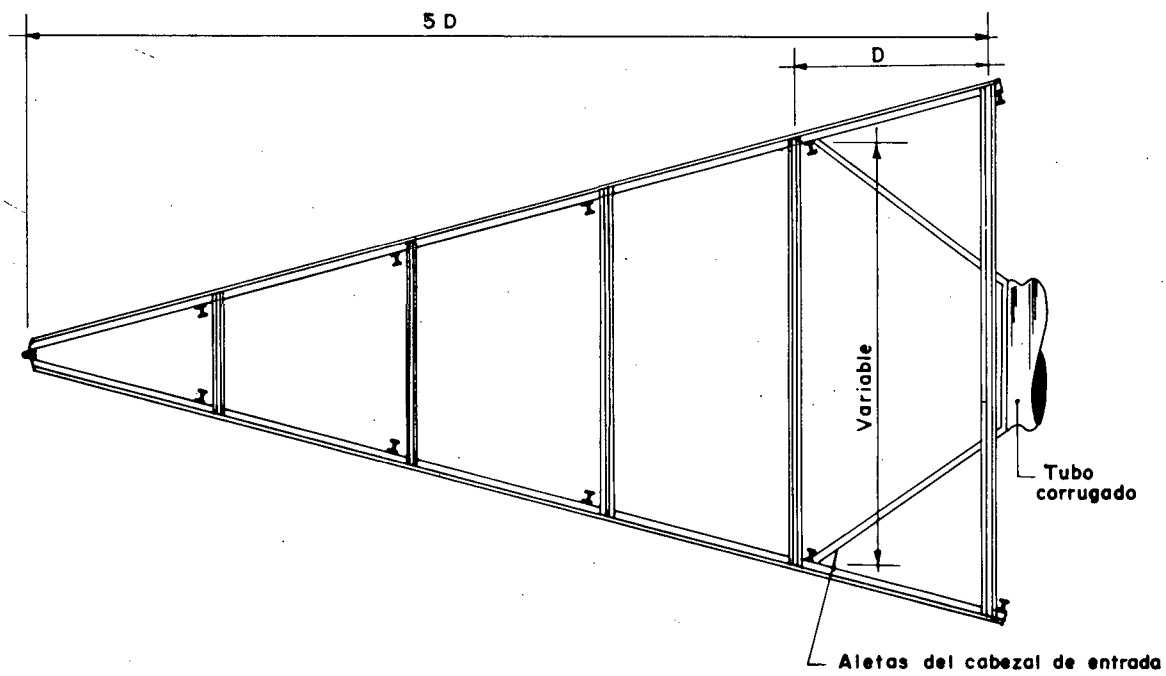


PLANTA

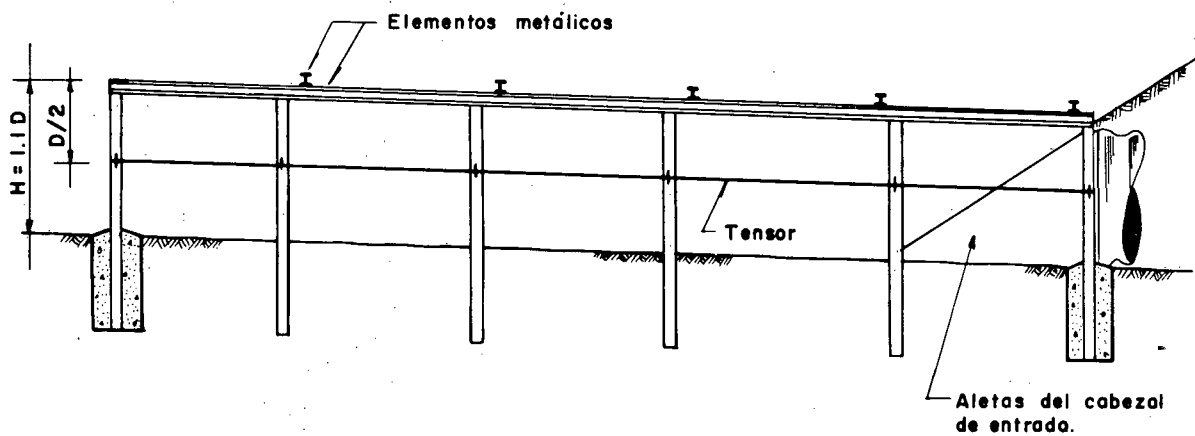


VISTA LATERAL

LAMINA IV-1
 DEFLECTOR DE ARRASTRES FLOTANTES
 Y CANTOS RODADOS



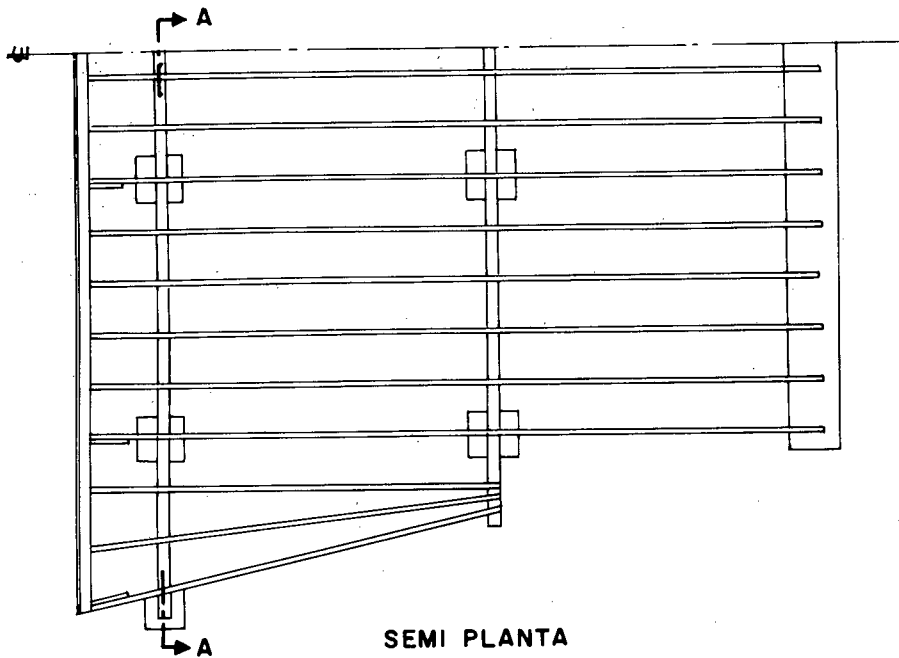
PLANTA



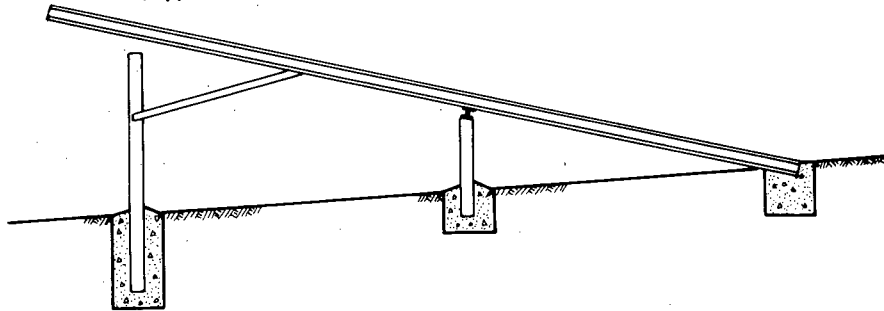
VISTA LATERAL

LAMINA IV-2

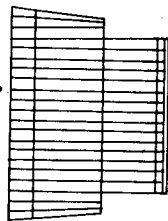
DEFLECTOR DE ARRASTRES FLOTANTES



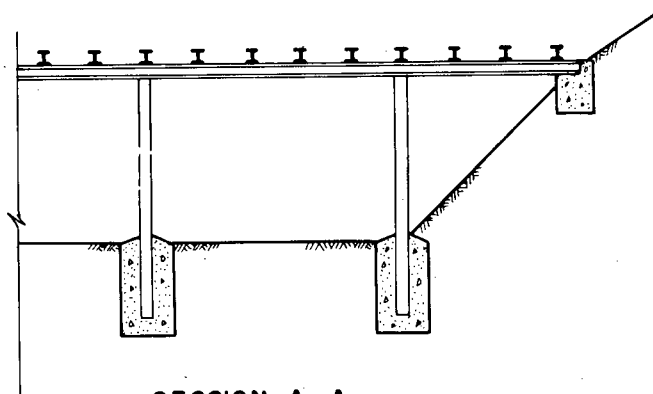
SEMI PLANTA



VISTA LATERAL



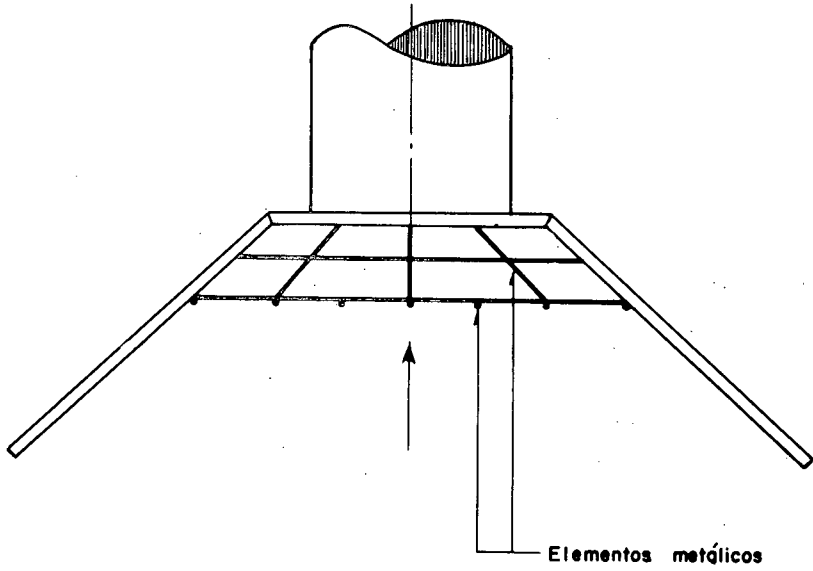
PLANTA



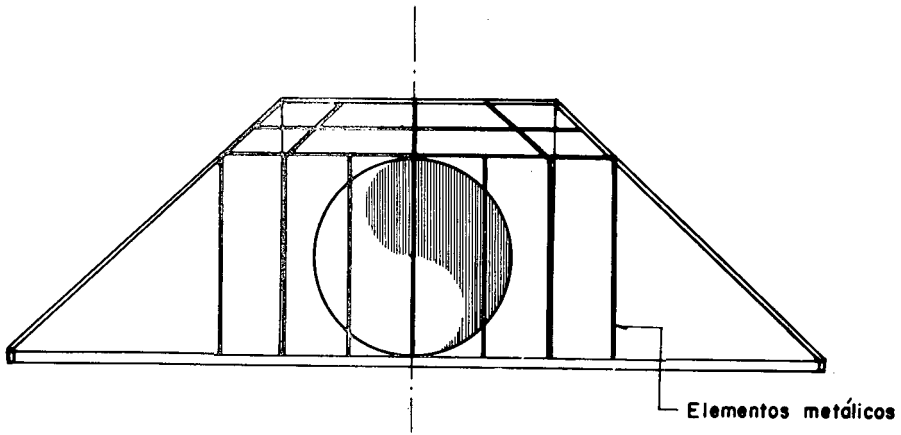
SECCION A-A

LAMINA IV - 3

BARRERA INCLINADA DE PROTECCION
CONTRA ARRASTRES FLOTANTES



PLANTA



VISTA DE FRENTE

LAMINA **IV** - 4
BARRERA DE PROTECCION
CONTRA ARRASTRES FLOTANTES LIVIANOS

IV.2.7.2.2 Profundidad máxima: Consultar el Manual de Diseño de la Dirección de Vialidad del M.O.P. y considerar las facilidades de cada sitio para la conservación y mantenimiento de los cajones.

IV.2.7.3 Alcantarillas metálicas

IV.2.7.3.1 Profundidades mínimas (altura del terraplén sobre la parte superior de la alcantarilla):

IV.2.7.3.1.1 Alcantarillas metálicas remachadas tubulares y abovedadas: 0.30 m.

IV.2.7.3.1.2 Alcantarillas metálicas abovedadas encajables: 0.60 m.

Para determinar los calibres convenientes en función de la cobertura mínima, deben consultarse los Manuales editados por las Empresas productoras especializadas.

IV.2.7.3.2 Profundidad máxima: Consultar los Manuales editados por las Empresas que fabrican las alcantarillas y examinar las facilidades del sitio para la conservación y mantenimiento.

IV.2.8 Protección de las alcantarillas

En general las alcantarillas se deterioran por la corrosión, o por la abrasión producida por los arrastres de tipo inorgánico.

La corrosión puede ser producida por elementos presentes en el agua, en el suelo, o en la atmósfera. El deterioro mecánico depende de las características y del volumen de los arrastres inorgánicos; también de la velocidad, duración y frecuencia del gasto líquido.

Para proteger las alcantarillas se deberá mantener las velocidades dentro de límites razonables (ver párrafo IV.2.4) y será necesario controlar la erosión y el arrastre de materiales (ver párrafo IV.2.5 y Capítulo VI). En particular y de acuerdo con el material y la ubicación, se podrá brindar protección a las alcantarillas de acuerdo con las situaciones siguientes:

IV.2.8.1 Alcantarillas metálicas

IV.2.8.1.1 El galvanizado es suficiente para condiciones normales.

IV.2.8.1.2 El galvanizado, complementado con un recubrimiento total de alfalto, debe ser considerado en las siguientes condiciones:

IV.2.8.1.2.1 En los lugares donde el agua se estanca y la vegetación puede producir ácidos orgánicos.

IV.2.8.1.2.2 En los lugares donde la alcantarilla puede estar sometida a una humedad constante.

IV.2.8.1.2.3 En los lugares de suelos secos y alcalinos.

IV.2.8.1.3 Para los casos en los cuales el galvanizado con el recubrimiento de alfalto no será protección suficiente, se deberán considerar otras soluciones, tales como aumentar el espesor o utilizar otro tipo de material en las alcantarillas. Estos casos son los siguientes:

IV.2.8.1.3.1 Cuando puedan producirse velocidades altas (mayores de 3.5 m./s.) con arrastre de sedimentos abrasivos.

IV.2.8.1.3.2 Cuando las alcantarillas estén sometidas a la acción del aire o de las aguas salinas.

IV.2.8.1.3.3 Cuando los suelos contengan grandes cantidades de minerales, o sean alcalinos y húmedos.

IV.2.8.1.3.4 Cuando las aguas drenadas contengan residuos de animales.

IV.2.8.1.4 La pavimentación de fondo es una solución recomendable para evitar la acción abrasiva de las aguas y de los sedimentos o para utilizar la alcantarilla como paso de personas o de ganado. El pavimento debe ser de concreto, o de concreto asfáltico. Si el peligro erosivo es grande, debe utilizarse el concreto.

Cuando se pavimente el fondo de la alcantarilla, es necesario anclar una malla al material metálico. El pavimento debe abarcar por lo menos el tercio inferior de la circunferencia del tubo y cubrir por completo las corrugaciones.

IV.2.8.1.5 El aumento del espesor prolonga la vida útil de las alcantarillas metálicas, pero en los lugares donde se combinan la corrosión y la abrasión, generalmente resulta más económico usar materiales no metálicos.

IV.2.8.2 Alcantarillas de concreto

IV.2.8.2.1 Se deberá aumentar el espesor del tubo:

IV.2.8.2.1.1 En el fondo solamente cuando la abrasión que puedan producir los materiales de arrastre sea considerable.

IV.2.8.2.1.2 En todo el perímetro, cuando el tubo está expuesto a altas velocidades o a la acción corrosiva de los elementos.

IV.2.8.2.2 Se deberá aumentar la densidad del concreto (tubos centrifugados), cuando los tubos van a estar expuestos al aire o a las aguas salinas.

IV.2.8.2.3 Cuando existan velocidades grandes se podrán disminuir construyendo rugosidades artificiales, tales como anillos, escalones y depresiones en la superficie, teniendo especial cuidado para evitar resaltos incontrolados, obstrucciones, etcétera. Estas soluciones deben ser consultadas a un experto en la materia.

IV.2.9 Subdrenajes

Debajo de las alcantarillas y también en las estructuras sobre las cuales las aguas subterráneas puedan ejercer presiones peligrosas, se deberán colocar sistemas de subdrenajes. En zonas húmedas debe prestarse especial atención al drenaje del área de fundación de los terraplenes.

IV.3 UBICACION DE ALCANTARILLAS

El sitio lógico para ubicar una alcantarilla es el cauce natural existente. Esta solución puede realizarse donde el alineamiento y la pendiente del cauce natural así lo permiten.

En otros casos, el colocar la alcantarilla con la pendiente existente traería como consecuencia que la velocidad resultante fuera mayor que la máxima permitida (ver párrafo IV.2.4). Este inconveniente puede solucionarse haciendo los quiebres necesarios en la pendiente longitudinal con el objeto de asegurar velocidades adecuadas, siempre y cuando las obras de drenaje tengan dimensiones que permitan inspecciones regulares y que faciliten, en caso de obstrucción, la extracción del material.

Otras limitaciones para ubicar la alcantarilla en el fondo serían: la imposibilidad de lograr un sistema práctico para la conservación y mantenimiento en el sitio y el alineamiento horizontal que en ningún caso debería tener quiebres bruscos, sino

que, en las situaciones que así lo ameriten, debe estar compuesto por curvas tan amplias como sea posible.

La capacidad de soporte del suelo es un factor que afecta directamente la ubicación y trazado de las obras de drenaje. Cuando éstas son de envergadura es necesario hacer los estudios correspondientes, ya que éstos podrían obligar a cambiar un alineamiento recto por otro curvo, con el fin de evitar una zona no conveniente, o a no utilizar total o parcialmente el cauce natural para ubicar la alcantarilla, o a mejorar el material existente, en los sitios que así lo requieran.

En caso de no colocar la alcantarilla en el fondo se deberá ubicar sobre terreno firme a un lado del cauce natural. Es muy importante que la alcantarilla esté situada en zanjas excavadas en "trinchera" en el terreno original, a fin de evitar el esfuerzo cortante que sobre la alcantarilla ejercería el terraplén, al asentarse a lo largo del plano de deslizamiento. Esta ha sido la causa de muchas fallas en obras de drenaje. En el caso en consideración, la salida de la alcantarilla estará generalmente más elevada que el cauce natural, siendo necesarias las obras de conducción o de disipación a que hubiere lugar (ver párrafo IV.8).

El fondo de entrada de las alcantarillas normalmente está a la misma elevación del cauce natural. Colocar la alcantarilla por encima del cauce tiene como límite llevar la alcantarilla casi a nivel de la calzada, con lo cual queda un espacio entre el terreno natural y el terraplén sin drenaje y por lo tanto el terraplén deberá ser diseñado y construido para embalsar el agua, o se deberá aprovechar material de relleno sobrante, para hacer un terraplén compactado y extendido hasta el terreno natural, ocupando de esta forma el volumen que existiría desde el nivel del cauce natural, hasta la rasante de la obra de drenaje. Esta solución acorta la longitud de la alcantarilla en sí, pero requiere de un canal que reciba las aguas del cauce natural y las conduzca bordeando el terraplén extendido, hasta la alcantarilla. Este canal debe ser construido sobre terreno natural y el terraplén debe tener pendiente adecuada para drenar. Para las entradas de alcantarillas, ubicadas a niveles más bajos que el terreno natural, se deben realizar diseños especiales.

Con respecto a los cauces naturales que cruzan el eje de la carretera en dirección oblicua, es necesario puntualizar que la entrada de la alcantarilla debe interceptar la corriente lo más directamente posible. En general, resulta más económico cambiar el cauce y hacer cruces normales al eje cuando el ángulo es pequeño, mantener la dirección del cauce natural cuando el ángulo es moderado y reducir los ángulos muy grandes.

Las alternativas y posibilidades que se presenten en el diseño deben ser comparadas estimando los costos totales, o sea, incluyendo los costos de las alcantarillas, de los cabezales y aletas, de los canales, de las obras de disipación de energía necesarias, del movimiento de tierra, de la conservación y mantenimiento del sistema y finalmente el costo de los daños que pueda ocasionar el alterar las condiciones naturales del sitio.

IV.4 DETERMINACION DE LA ALTURA DEL AGUA EN LA ENTRADA Y EN LA SALIDA DE LAS ALCANTARILLAS

IV.4.1 Altura de agua en la entrada

La altura de agua en la entrada será función del gasto y de las características de la alcantarilla y se podrá determinar a partir de los nomogramas correspondientes (Nomogramas IV.4 a IV.13). Estará limitada por las recomendaciones que aparecen en el párrafo IV.2.2.

IV.4.2 Altura de agua en la salida

La altura de agua en la salida de la alcantarilla se considera como la profundidad normal del cauce o canal, de acuerdo a las características del mismo y al gasto de diseño, se determinará utilizando la Fórmula de Manning.

Se distinguen dos casos:

IV.4.2.1 La alcantarilla descarga en un cauce natural existente

La aplicación de la Fórmula de Manning permitirá determinar la capacidad del cauce existente para varias profundidades, con el fin de determinar por tanteo la profundidad correspondiente al gasto en consideración.

El gasto de proyecto será función del gasto de la alcantarilla y de los aportes aguas abajo de la misma.

IV.4.2.2 La alcantarilla descarga en un cauce artificial construido al efecto

En este caso el gasto del canal será el gasto de diseño de la alcantarilla y la profundidad en el mismo podrá ser determinada a partir del Nomograma IV.1. Es importante precisar el sitio de descarga del canal artificial a fin de tomar en cuenta la posibilidad de que se produzca un remanso causado por las condiciones del cauce natural donde desagua.

IV.4.2.3 En caso de que se tengan torrenteras o bajantes aguas abajo, la descarga de la alcantarilla será libre.

IV.5 NOMENCLATURA

La lista de símbolos que aparece a continuación contiene los términos más usuales en el diseño de alcantarillas. Otros términos empleados en los párrafos descriptivos, se han definido cuando se mencionan por primera vez.

- A : área de la sección transversal ocupada por el agua, en m^2
- A_s : área de la sección transversal ocupada por el agua a la salida de la alcantarilla, en m^2
- B : luz o ancho de la alcantarilla, en metros.
- b : ancho en el fondo de un canal, en metros.
- C_E : coeficiente de pérdida de carga en la entrada de alcantarillas. (Tabla IV-1.)
- D : diámetro de una sección circular, flecha o altura de una sección no circular, en metros.
- d : profundidad normal o sea, profundidad bajo régimen uniforme, en metros.
- dm : profundidad hidráulica, en metros.
- d_c : profundidad crítica, en metros.
- F_r : número de Froude.
- g : aceleración de gravedad, igual a $9,8 \text{ m./seg.}^2$
- H : carga utilizada, en metros.
- HE : carga o altura a la entrada, en metros.
- HS : altura de agua a la salida, en metros.
- HEP: carga permisible a la entrada, en metros.
- L : longitud de la alcantarilla, en metros.
- n : coeficiente de la fórmula de Manning.
- Q : gasto o caudal en $m^3/\text{seg.}$

- q : igual a Q/b , gasto unitario, en $m^3/seg./m$.
S : pendiente del fondo de la alcantarilla.
V : velocidad media, igual a Q/A , en $m./seg$.

Las alcantarillas que trabajan parcialmente llenas, o a sección plena con presiones nulas, se clasifican como canales abiertos y poseen todas las características de los mismos. Por el contrario, cuando las alcantarillas trabajan a presión se tratan como conductos cerrados. Por lo tanto, desde el punto de vista hidráulico es muy importante definir si la alcantarilla trabaja o no a presión para así poder estimar su capacidad.

IV.6 HIDRAULICA DE LAS ALCANTARILLAS

IV.6.1 Definiciones y consideraciones generales

Las alcantarillas que trabajan parcialmente llenas, o a sección plena con presiones nulas, se clasifican como canales abiertos y poseen todas las características de los mismos. Por el contrario, cuando las alcantarillas trabajan a presión se tratan como conductores cerrados. Por lo tanto, desde el punto de vista hidráulico es muy importante definir si la alcantarilla trabaja o no a presión para así poder estimar su capacidad.

IV.6.1.1 Régimen permanente

Se dice que el régimen es permanente cuando en cualquier sección transversal el caudal es constante; en consecuencia, ni la velocidad ni la profundidad varían de un instante a otro.

IV.6.1.2 Régimen no permanente

Se dice que el régimen es no permanente cuando en cualquier sección transversal el caudal cambia con el tiempo, en consecuencia tanto la velocidad como la profundidad varían de un instante a otro.

IV.6.1.3 Régimen uniforme

Se dice que el régimen es uniforme cuando en las secciones transversales sucesivas de un tramo, la velocidad media y la profundidad son iguales en cualquier instante. El régimen uniforme sólo es posible en un canal de sección transversal constante.

IV.6.1.4 Régimen no uniforme

Se dice que el régimen es no uniforme cuando en las secciones transversales sucesivas de un tramo, ni la velocidad, ni la profundidad son iguales en un instante cualquiera.

IV.6.1.5 Régimen crítico

El régimen crítico en un canal se caracteriza por lo siguiente:

IV.6.1.5.1 La energía específica, o sea la suma de la carga de velocidad ($V^2/2g$) y la profundidad, es mínima para cierto gasto dado.

IV.6.1.5.2 La carga de velocidad es igual a la mitad de la profundidad hidráulica.

IV.6.1.5.3 El número de Froude es igual a la unidad. El número de Froude se define como:

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{g d_m}}$$

IV.6.1.5.4 La velocidad media es igual a la celeridad de las ondas de pequeña amplitud.

El régimen crítico es inestable por cuanto pequeñas variaciones en energía específica ocasionan grandes cambios de profundidad y el régimen deja de ser crítico.

IV.6.1.6 Régimen subcrítico

El régimen subcrítico se caracteriza por lo siguiente:

IV.6.1.6.1 La carga de velocidad es muy pequeña si se compara con la profundidad.

IV.6.1.6.2 El número de Froude es menor que la unidad.

IV.6.1.6.3 La velocidad media es menor que la celeridad de las ondas de pequeña amplitud, y por lo tanto las perturbaciones que se pudiesen producir, serán transmitidas aguas arriba de su punto de origen.

IV.6.1.7 Régimen supercrítico

El régimen supercrítico se caracteriza por lo siguiente:

IV.6.1.7.1 La profundidad es muy pequeña si se compara con la carga de velocidad.

IV.6.1.7.2 El número de Froude es mayor que la unidad.

IV.6.1.7.3 La velocidad media es mayor que la celeridad de las ondas de pequeña amplitud y por lo tanto las perturbaciones que se pudiesen producir, no son transmitidas aguas arriba de su punto de origen.

IV.6.1.8 Elementos de una sección transversal

Los elementos más importantes de las secciones transversales son los siguientes:

A : el área, se refiere siempre a la sección normal a la corriente.

P : el perímetro mojado, es la longitud de la sección transversal en contacto con el agua.

R : el radio hidráulico, el cual se define como el área dividida por el perímetro mojado.

$$R = A/P$$

d : la profundidad máxima del agua, en la sección transversal.

T : el ancho superior, es decir, el ancho de la superficie de agua.

dm : la profundidad hidráulica, la cual se define como el área dividida por el ancho superior.

$$dm = A/T$$

IV.6.1.9 Resalto Hidráulico

Es el borbollón o elevación brusca y turbulenta de la superficie que se presenta

cuando se retarda bruscamente una corriente de agua a alta velocidad. La transición es siempre de un régimen supercrítico a un régimen subcrítico, produciéndose una pérdida considerable de energía.

IV.6.1.10 Sección de Control

Una sección de control es aquella donde existe una relación definida entre el gasto y la profundidad. Toda transición de régimen subcrítico a supercrítico, se hace pasando por una sección de control.

IV.6.1.11 Tipo de Pendiente

La pendiente de un canal puede clasificarse como suave, crítica, o pronunciada, según el tipo de régimen uniforme que pueda producirse. En canales de pendiente suave el régimen uniforme será subcrítico; en canales de pendiente pronunciada será supercrítico y en canales de pendiente crítica, tal como lo expresa su nombre, el régimen uniforme será crítico.

IV.6.2 Condiciones típicas de funcionamiento de las alcantarillas

La experiencia ha demostrado que de acuerdo al sitio donde ocurre el control, existen principalmente dos clases de funcionamiento hidráulico.

IV.6.2.1 Control a la entrada.

IV.6.2.2 Control a la salida.

Para diseñar hidráulicamente una alcantarilla se necesita conocer de antemano cómo va a funcionar, lo cual es una difícil predicción en la mayoría de los casos, no sólo por los numerosos factores que intervienen, sino porque es factible que el control fluctúe de la entrada a la salida.

De acuerdo a la ubicación del control, se aplican diferentes fórmulas, las cuales reflejan el efecto de los diversos factores. Así, cuando el control es a la entrada, los factores determinantes de la capacidad son: el área de la sección transversal, la geometría de la entrada y la altura de agua a la entrada. El control a la salida involucra la consideración adicional de otros factores, tales como la altura de agua a la salida, la longitud, la pendiente y la rugosidad de la alcantarilla.

El procedimiento a seguir para determinar qué clase de funcionamiento se tendrá, consiste en calcular las alturas de agua a la entrada, para los dos tipos de control; la mayor de las dos es escogida como la situación más adversa y es la que ha de regir el diseño (ver IV.7.3).

IV.6.2.1 Alcantarillas con control a la entrada

Se tiene control a la entrada cuando la capacidad de la alcantarilla está regulada por la geometría y la altura de agua a la entrada (HE). Se entiende por geometría de la sección, el área y el tipo de borde que se tenga.

Los esquemas CE-1 y CE-2 de la Figura IV.1 muestran alcantarillas que funcionan con control a la entrada.

IV.6.2.1.1 Relación altura-gasto

El U.S. Bureau of Public Roads ha determinado a través de numerosas experiencias, las relaciones entre altura y gasto para diferentes tipos de alcantarillas. Esas experiencias aparecen al final de este capítulo, en los nomogramas identificados como de control a la entrada (Nomogramas IV-4 al IV-7).

IV.6.2.2 Alcantarillas con control a la salida

La capacidad de las alcantarillas con control a la salida está determinada por la geometría de la sección de entrada, por las alturas de agua a la entrada y a la salida y por la longitud, área de la sección transversal, pendiente y rugosidad de la alcantarilla.

Los esquemas CS-1 y CS-2 de la Figura IV-1, muestran alcantarillas con control a la salida, que funcionan a sección plena. Los esquemas CS-3 y CS-4, muestran otros dos tipos comunes de funcionamiento con control a la salida.

El procedimiento de cálculo presentado en este Manual no da una solución precisa para el caso CS-4, sin embargo, la solución es lo suficientemente aproximada cuando la carga de agua a la salida es mayor que $3/4 D$.

IV.6.2.2.1 Carga utilizada

Para pasar una cantidad de agua por una alcantarilla que funcione con control a la salida, se requiere una carga o energía (H) capaz de suministrar la carga de velocidad (Hv), la pérdida de carga en la entrada (He) y la pérdida de carga por fricción en el conducto (Hf). Para este tipo de cálculos, se desprecia la energía cinética del agua en el canal de aproximación.

$$H = H_v + H_E + H_f$$

La carga de velocidad (Hv) es igual a: $V^2/2g$.

La pérdida de carga en la entrada He, depende de la geometría de la entrada y se expresa en función de la carga de velocidad.

$$H_e = C_e \frac{V^2}{2g}$$

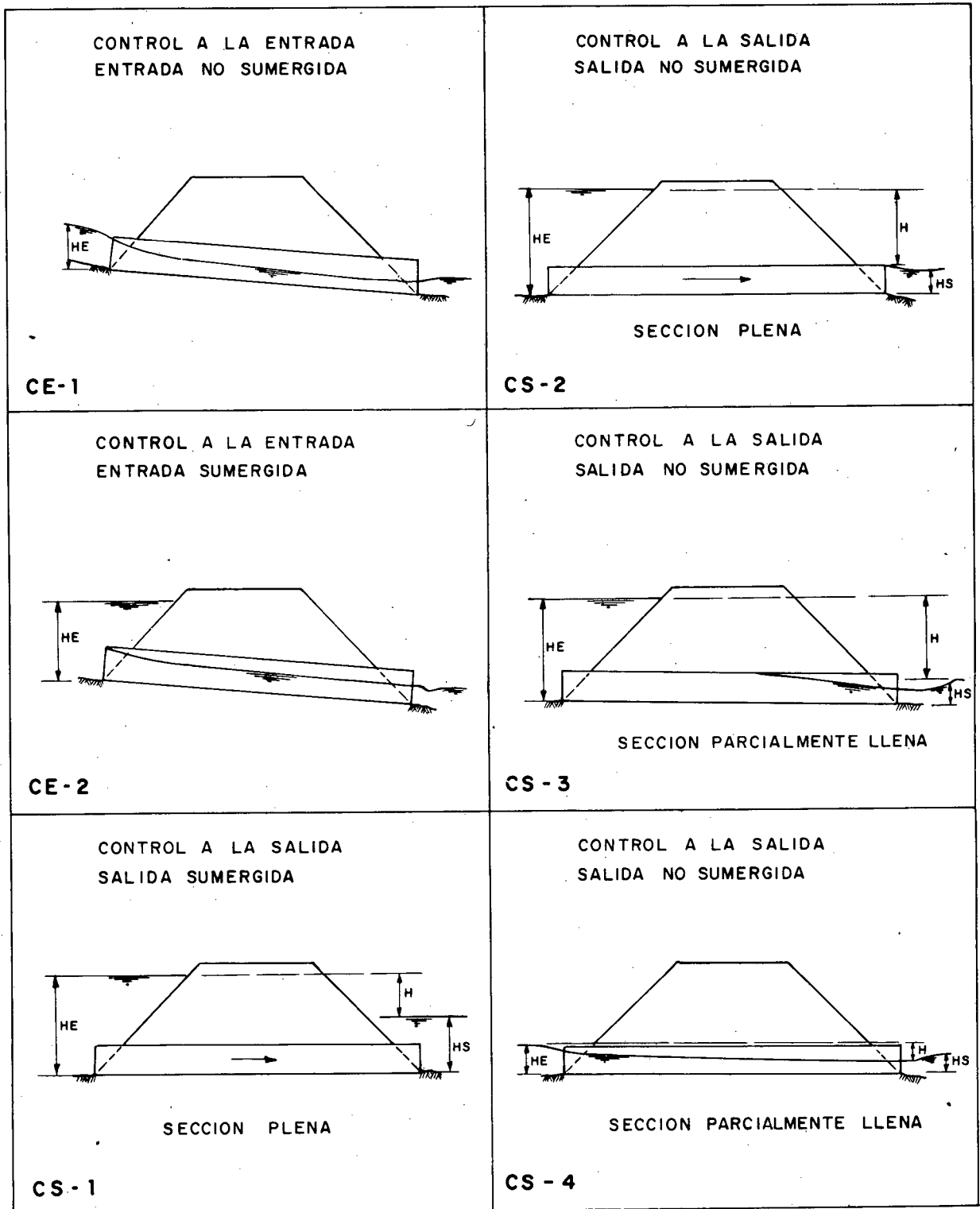
En la Tabla IV.1 aparecen valores de Ce, para las alcantarillas de uso más frecuente. La pérdida de carga por fricción se puede calcular mediante la ecuación de Manning:

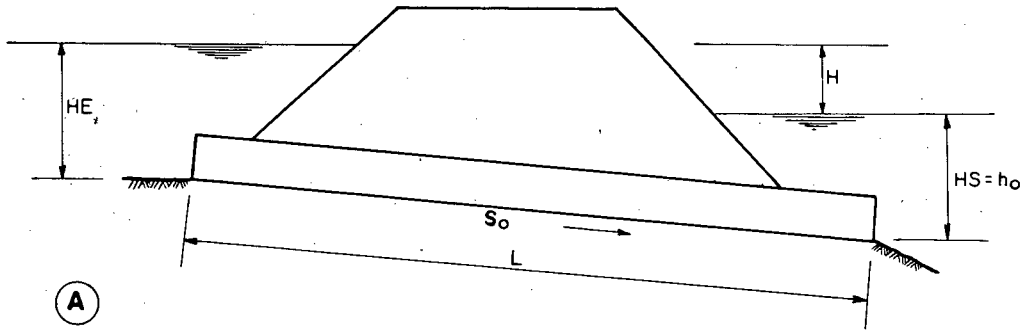
$$H_f = \frac{19.6n^2L}{R^{2/3}} \times \frac{V^2}{2g}$$

IV.6.2.2.2 Relación carga-gasto

La carga H, puede determinarse para diferentes tipos de alcantarillas a partir de los nomogramas identificados como "control a la salida" (Nomogramas IV.8 al IV.13), con sólo establecer los coeficientes "Ce" (Tabla IV.1) y "n" (Tabla Anexo A) apropiados. En caso de que fuera necesario utilizar valores de "n" distintos a los existentes en los nomogramas, basta con utilizar una longitud modificada L_1 para el valor deseado de "n", de acuerdo con:

$$L_1 = L \left(\frac{n_1}{n} \right)^2$$

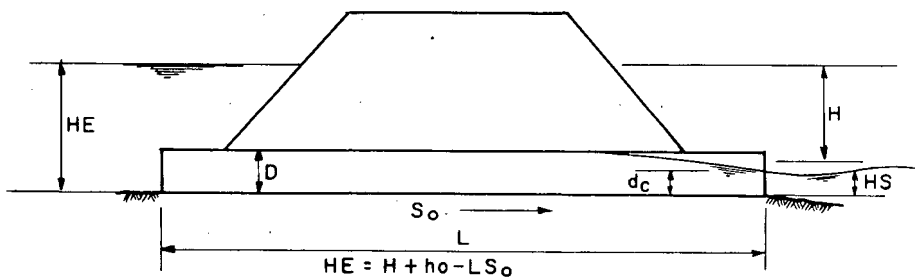




(A)

$$HE = H + ho - LS_o$$

$$ho = HS$$



(B)

$$ho = \frac{D + dc}{2} \quad \vee \quad HS \quad (\text{El mayor de los dos})$$

IV.6.2.2.3 Altura de agua a la entrada

Cuando el control es a la salida, no basta con determinar la carga (H) utilizada. Es necesario calcular la altura de agua a la entrada (H_e) considerando la pendiente de la alcantarilla y las condiciones de la salida.

$$H_e = H + h_o - L S_o$$

La determinación de " h_o " depende de los niveles aguas abajo. Si el nivel del agua a la salida se encuentra por encima del tope de la alcantarilla, tal como se muestra en el esquema "A" de la Figura IV.2 " h_o " es igual a la altura de agua a la salida (H_s). De allí la importancia que tiene en la precisión de los cálculos, la determinación del nivel de agua en el canal de salida.

Si la salida no está sumergida, como en el esquema B de la Figura IV.2 y como en los casos de funcionamiento CS-2, CS-3 y CS-4 de la Figura IV.1, el valor de " h_o " será igual al mayor de los dos valores siguientes:

- a) H_s
- b) $\frac{d_c + D}{2}$

Los valores de d_c pueden determinarse con la ayuda de los Gráficos IV-1, IV-2 y IV-3.

IV.7 DISEÑO DE ALCANTARILLAS PROCEDIMIENTO

IV.7.1 Datos requeridos

El comportamiento de las alcantarillas de acuerdo a las suposiciones hechas para el diseño, dependerá en la mayoría de los casos de la calidad de los datos establecidos y por consiguiente de la precisión, cantidad y extensión de los trabajos de campo previamente realizados, según se describe en el Capítulo II.

Los datos básicos requeridos para el proyecto de alcantarillas, son los siguientes:

IV.7.1.1 Gasto de proyecto

El gasto de proyecto para cada alcantarilla deberá ser establecido según se explica en el Capítulo III, correspondiente a Hidrología.

IV.7.1.2 Ubicación de la alcantarilla

Una vez conocido el proyecto de la carretera y la topografía del cauce natural y zonas adyacentes, se procederá a ubicar tentativamente la alcantarilla ateniéndose a los principios expuestos en el aparte IV.3.

Se podrá así definir:

- IV.7.1.2.1 Progresiva del sitio del cauce.
- IV.7.1.2.2 Progresiva del sitio de la alcantarilla.
- IV.7.1.2.3 Rasante o subrasante de la carretera.
- IV.7.1.2.4 Cota de la rasante a la entrada de la alcantarilla.
- IV.7.1.2.5 Pendiente de la alcantarilla.

IV.7.1.2.6 Longitud de la alcantarilla.

IV.7.1.2.7 Obras complementarias tales como canales, aletas, disipadores.

IV.7.1.3 Velocidad máxima permisible en canales

Se establecerá según el tipo de suelos o de revestimiento, de acuerdo con la Tabla ya mencionada en el párrafo IV.2.3.

IV.7.1.4 Profundidad de agua en el canal de salida

La profundidad del agua en el canal de salida podrá ser estimada de acuerdo con los siguientes datos recolectados durante los trabajos de campo descritos en el Capítulo II:

IV.7.1.4.1 Sección transversal del canal.

IV.7.1.4.2 Coeficiente de rugosidad "n" (ver Tabla Anexo 1).

IV.7.1.4.3 Pendiente del fondo.

La profundidad se calculará para el gasto de proyecto, utilizando la Fórmula de Manning, resuelta en forma gráfica en el Nomograma IV.1 para canales trapeciales.

Cuando las alcantarillas descargan al mar, a un lago, a zonas inundadas, o en otras condiciones similares, el nivel del agua no estará determinado por el gasto de diseño de la alcantarilla: en estos casos, se procederá a establecer la profundidad del agua a la salida, basándose en el nivel de aguas máximas registrado o estimado.

IV.7.1.5 Carga permisible a la entrada (HEP)

Se determina de acuerdo con lo expuesto en el Aparte IV.2.2.

IV.7.2 Selección del tamaño y tipos tentativos de alcantarillas

Es conveniente resaltar la importancia de un análisis económico de las alternativas posibles, que incluya los costos de adquisición, colocación, construcción, conservación y mantenimiento, para la selección del tamaño y tipo de alcantarilla.

El tipo y tamaño de la alcantarilla dependerá principalmente de las condiciones de cada sitio en particular, por ejemplo: cauces anchos y terraplenes bajos; favorecen la utilización de alcantarillas abovedadas o de cajones más anchos que altos, sin embargo, los gráficos para régimen uniforme en colectores llenos (Nomogramas IV.2 y IV.3) sirven para definir un tamaño y tipo cercanos al definitivo.

Para la selección del tamaño y tipo de alcantarilla hay que tener en cuenta las recomendaciones generales (IV.2).

IV.7.3. Cálculo hidráulico de la alcantarilla

Una vez seleccionado un tamaño tentativo de alcantarilla, se procede a calcular la altura de agua a la entrada (HE) considerando las dos posibilidades, de control a la entrada o control a la salida; la altura calculada que resultare mayor, definirá el tipo de control que se ha de tener y debe ser comparada con la altura permisible a la entrada (HEP). Si la altura calculada resulta menor o mayor que la permisible, se selecciona otro tamaño y se repite el cálculo.

IV.7.3.1 Cálculo de la altura de agua a la entrada, con control a la entrada

IV.7.3.1.1 Utilizando el Nomograma de control a la entrada apropiado al tipo de

alcantarilla (Nomogramas IV.4 ay IV.7), y considerando el tamaño tentativo ya seleccionado, se determina en la escala correspondiente la relación HE/D.

IV.7.3.1.2 Se calcula $HE = (HE/D) \times D$.

IV.7.3.2 Cálculo de la altura de agua a la entrada, con control a la salida

IV.7.3.2.1 Se calcula la altura de agua a la entrada, a partir de la ecuación

$$H_e = H + h_o - LSo$$

IV.7.3.2.2 La carga utilizada (H), se determina empleando el Nomograma apropiado para el tipo de alcantarilla (Nomogramas IV.8 al IV.13) y considerando el tamaño tentativo ya seleccionado, cuya longitud y rugosidad se conocen.

IV.7.3.2.3 Determinación del valor de "h_o".

IV.7.3.2.3.1 Se determina el valor de H_s.

IV.7.3.2.3.2 Se determina el valor de $\frac{dc + D}{2}$

"h_o" será igual a H_S cuando la salida es sumergida, o cuando H_S es mayor que $\frac{dc + D}{2}$ y la salida no está sumergida.

h_o será igual a $\frac{dc + D}{2}$ cuando la salida no está sumergida y H_S es menor que $\frac{dc + D}{2}$

IV.7.3.2.4 Para el cálculo de la profundidad crítica se deberán utilizar los gráficos IV.1, IV.2 y IV.3.

IV.7.3.3 Cálculo de la velocidad a la salida

La velocidad a la salida se calcula a partir de $V = Q/A_s$. Donde A_s es el área de la sección transversal ocupada por el agua a la salida, y variará según la clase de control que tenga.

IV.7.3.3.1 Si se ha determinado que el control será a la salida, el área de la sección transversal a la salida (A_s) puede calcularse a partir del valor de d, utilizado en IV.7.3.2.3, con la ayuda del gráfico IV.10.

IV.7.3.3.3 Si se ha determinado que el control será a la entrada, el área de la sección transversal a la salida (A_s), se supone igual al área de la sección con profundidad normal.

La profundidad normal para secciones no rectangulares, puede determinarse calculando la capacidad a sección plena, a partir de los gráficos IV.5 al IV.9. Conocida la relación entre gasto de proyecto y capacidad a sección plena, se procede a determinar con la ayuda del gráfico IV.10 la relación entre profundidades y en consecuencia la profundidad normal para el gasto de proyecto.

Para secciones rectangulares se ha preparado el gráfico IV.4.

IV.8 CONTROL DE EROSION A LA SALIDA

Este párrafo se refiere al control de la erosión que puede producirse a la salida de las alcantarillas. Las alcantarillas generalmente producen velocidades mayores que las del cauce natural, las cuales alcanzan su valor máximo y por lo tanto su máximo po-

tencial de erosión, a la salida. Por lo tanto, es imprescindible calcular la velocidad de salida, utilizando los gráficos apropiados, con el fin de compararla con las velocidades máximas recomendadas en canales no revestidos (Tabla párrafo IV.2.3) y decidir si es necesario utilizar obras de protección o de disipación de energía.

Cuando exista el peligro de erosiones que causen daños de consideración, se recomienda proyectar las obras a la salida de las alcantarillas, para una frecuencia de 50 años.

IV.8.1 Muros de ala

Los muros de ala que salen de los cabezales de las alcantarillas, se utilizan para contener el terraplén y para limitar la transición al canal. Es una solución económica desde el punto de vista de muro de retención, pero generalmente al trabajar como transiciones entre la salida de las alcantarillas y los cauces naturales, no son tan efectivos porque los ángulos de ensanche son demasiado pronunciados y la longitud de transición es muy corta, lo cual propicia zonas de separación de la corriente hacia los lados, originándose torbellinos que van más allá del final de los muros y erosionan el terraplén a ambos lados de la transición, siendo posible que se produzca la falla de la misma o del terraplén.

Por lo tanto, se recomienda usar como ángulo de separación de los muros de ala, en relación al eje de la alcantarilla, la cifra que resulte de dividir 45 por la velocidad de salida de la alcantarilla en metros/segundo. Por ejemplo, para una velocidad de 5m/s., el ángulo será de 9°

Deberán tomarse medidas adaptadas a cada sitio en particular, para evitar la socavación lateral de los muros de ala.

IV.8.1.1 Con el fin de disipar energía, para velocidades hasta 5 m./s., y gastos no muy altos, se recomienda utilizar zampeados con piedras que sobresalgan sobre el fondo 0.30 ó 0.40 m., por una distancia igual a seis diámetros. Para cajones de concreto se podrán utilizar disipadores sencillos tales como pozos amortiguadores.

IV.8.1.2 Para velocidades de salida más o menos altas (3 a 5 m./s.), se pueden proyectar transiciones alabeadas que se adapten a canales trapeciales, o en forma de U.

IV.8.1.3 Para velocidades mayores de 5 m./s., es conveniente utilizar una estructura para disipar la energía, lo cual acorta la transición.

IV.8.1.4 Para evitar el peligro de socavación al final de las transiciones de salida, éstas, deben ser ancladas al terreno mediante un dentellón, con una profundidad suficiente.

IV.8.2 Obras de disipación de energía

Para disipar la energía de las aguas a la salida de las alcantarillas y canales, será necesaria la construcción de obras apropiadas. Por las limitaciones que es necesario imponer a la velocidad del agua, se tendrán números de Froude no muy grandes, lo cual simplifica el diseño de las obras de disipación.

Por lo tanto, salvo en obras especiales tales como "rápidos", "toboganes" o "bajantes", se recomienda utilizar las indicadas en las Figuras IV.3, IV.4 y IV.5, que se denominan disipadores de caída, de ranura y de impacto, respectivamente.

Para las obras especiales, las cuales requieren un diseño cuidadoso, se deben consultar, entre otras, las referencias indicadas abajo (1), (2).

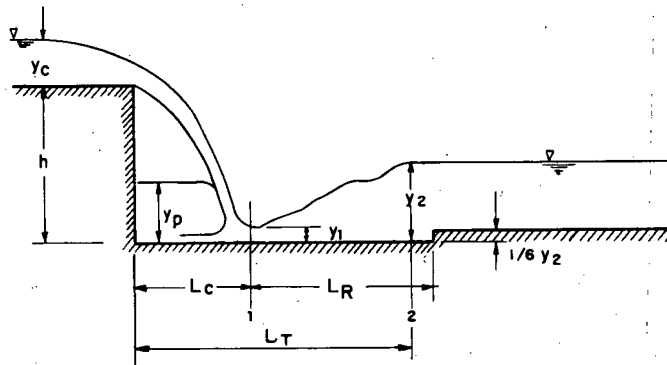
(1) Drainage and Erosion Control.

DRAINAGE FOR AREAS OTHER THAN AIRFIELDS. Department of the Army Technical Manual (T.M. 5-820-4).

(2) Design of Small Dams. U.S. Bureau of Reclamation.

Las denominadas "torreteras", de uso muy común en el país, no son otra cosa que disipadores de caída. Para los casos que así lo ameriten, el primer "escalón" deberá proyectarse como "caída supercrítica" y los demás como régimen subcrítico (ver Figura IV.3).

DISIPACION POR CAIDA - REGIMEN SUB-CRITICO



$$\frac{y_1}{h} = 0.54 \left(\frac{y_c}{h} \right)^{1.275}$$

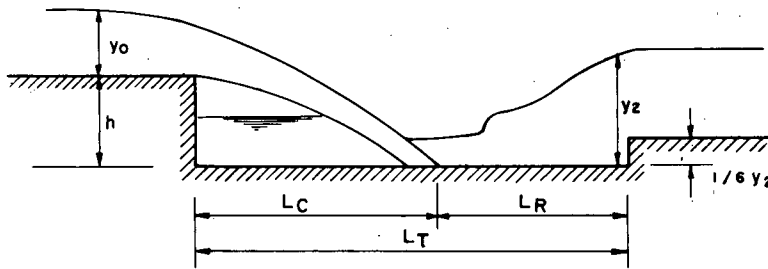
$$\frac{y_2}{h} = 1.66 \left(\frac{y_c}{h} \right)^{0.81}$$

$$\frac{L_c}{h} = 4.30 \left(\frac{y_c}{h} \right)^{0.81}$$

$$\frac{y_p}{h} = \left(\frac{y_c}{h} \right)^{0.66}$$

$$L_R = 6.9 (y_2 - y_1)$$

DISIPACION POR CAIDA - REGIMEN SUPERCRITICO

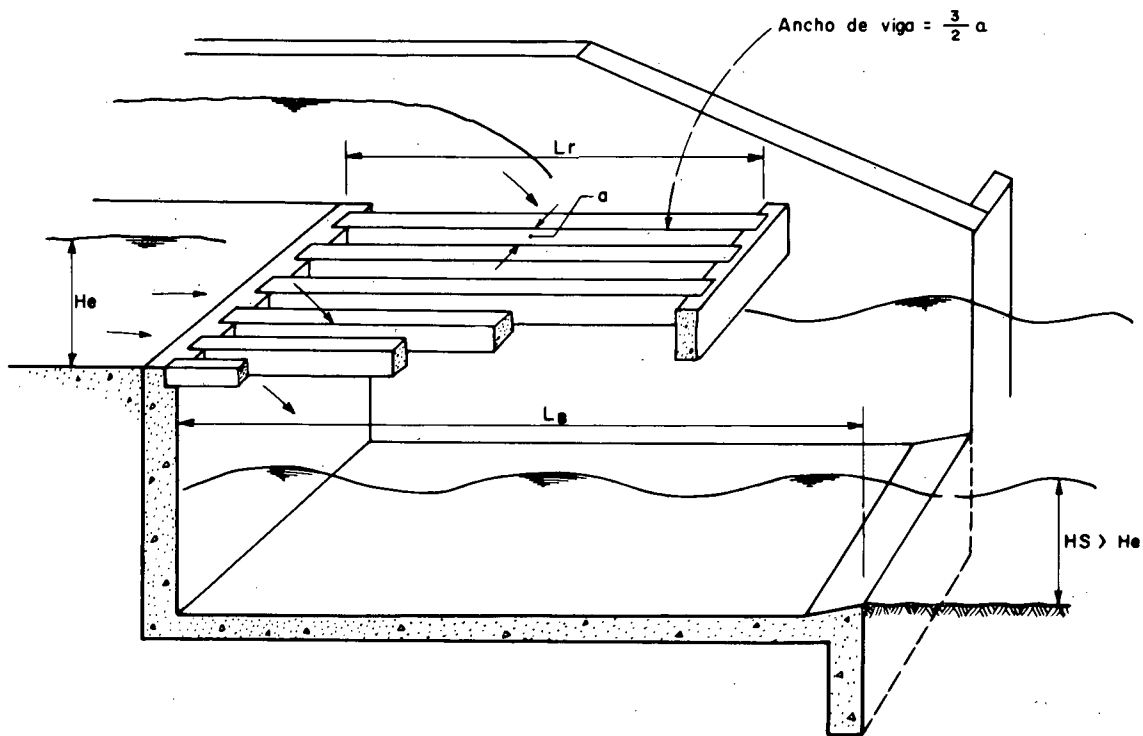


VALORES APROXIMADOS

Nº FROUDE = 2				Nº FROUDE = 3				Nº FROUDE = 4			
h/yo	Lc/yo	LR/yo	y2/yo	h/yo	Lc/yo	LR/yo	y2/yo	h/yo	Lc/yo	LR/yo	y2/yo
1.0	2.8	9.4	1.9	1.0	3.4	18.4	3.4	1.0	3.4	28.6	5.2
1.5	3.2	9.0	1.7	1.5	4.0	17.2	3.0	1.5	4.5	27.0	4.7
2.0	3.5	8.5	1.4	2.0	4.4	15.8	2.6	2.0	5.2	25.2	4.2

NOTA: EN LAS TORRENTERAS, COMO LONGITUD DE LA HUELLA SE RECOMIENDA UTILIZAR 1,1 Lc

FIGURA IV - 3



$$L_r = \frac{Q}{0.245 a N \sqrt{2g H_e}}$$

$$L_g = 1.2 L_r$$

Q = Gasto en m^3/s .

L_r = Longitud de la ranura en mts.

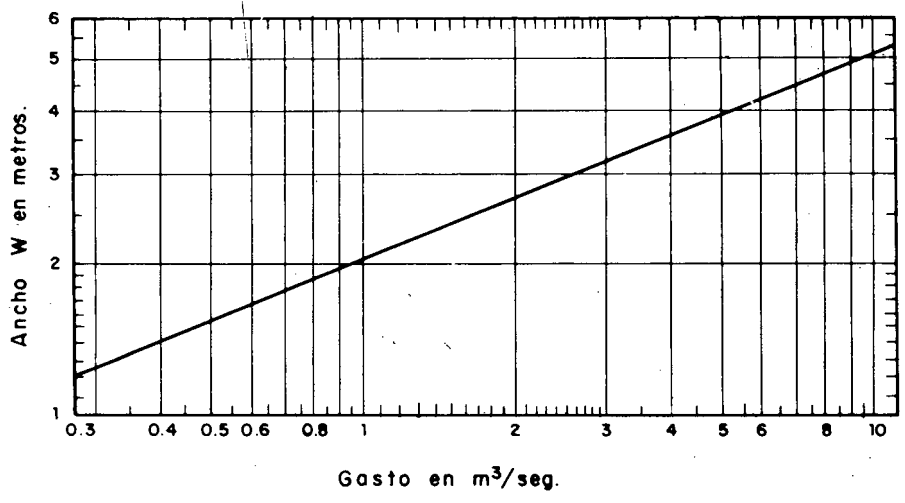
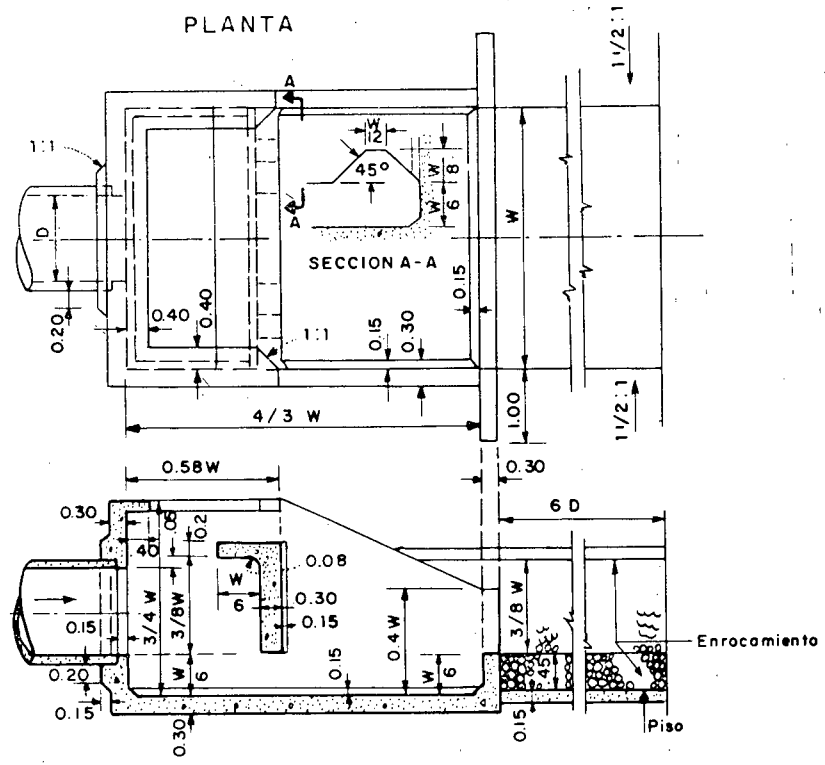
W = Ancho.

N = Número de ranuras.

H_e = Profundidad de la corriente, aguas arriba de la caída.

Diciembre 1967

FIGURA IV - 4
DISIPACION POR RANURAS



DISIPACION POR IMPACTO

FIGURA IV - 5

ALCANTARILLAS
PERDIDAS DE CARGA EN LA ENTRADA
COEFICIENTES

TABLA III - I

$$H_L = C_E \frac{V^2}{2g}$$



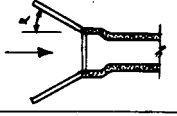
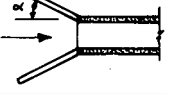
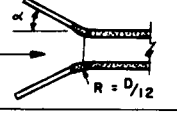
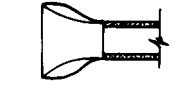

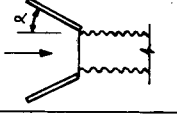
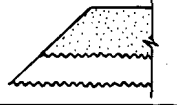
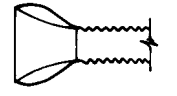
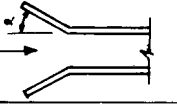
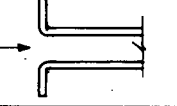
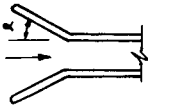
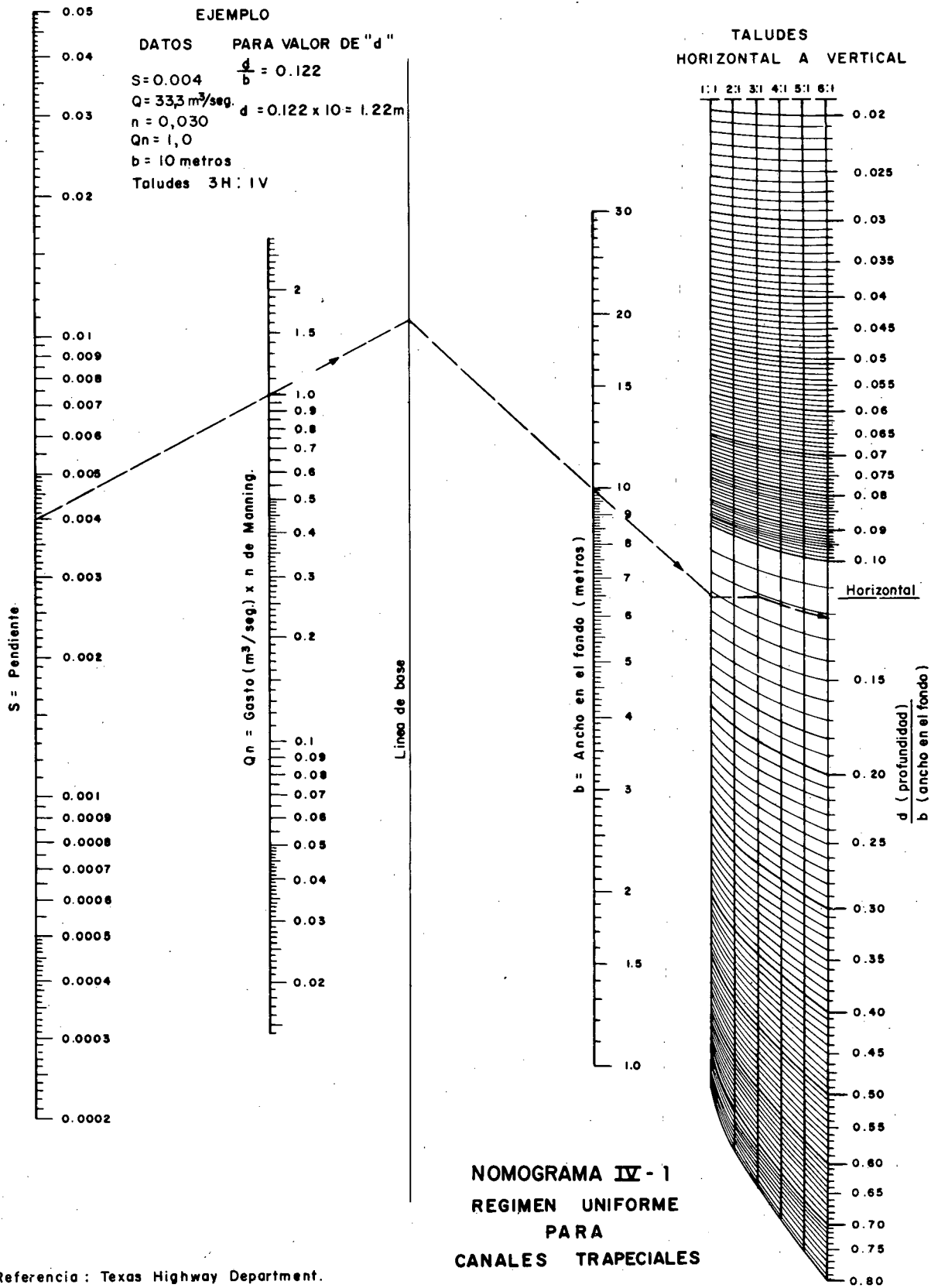
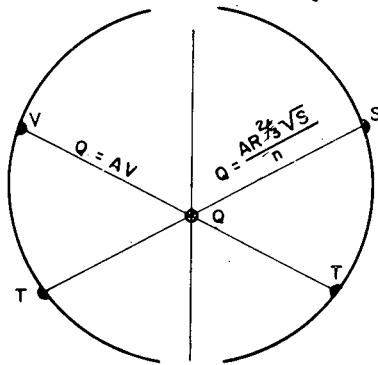
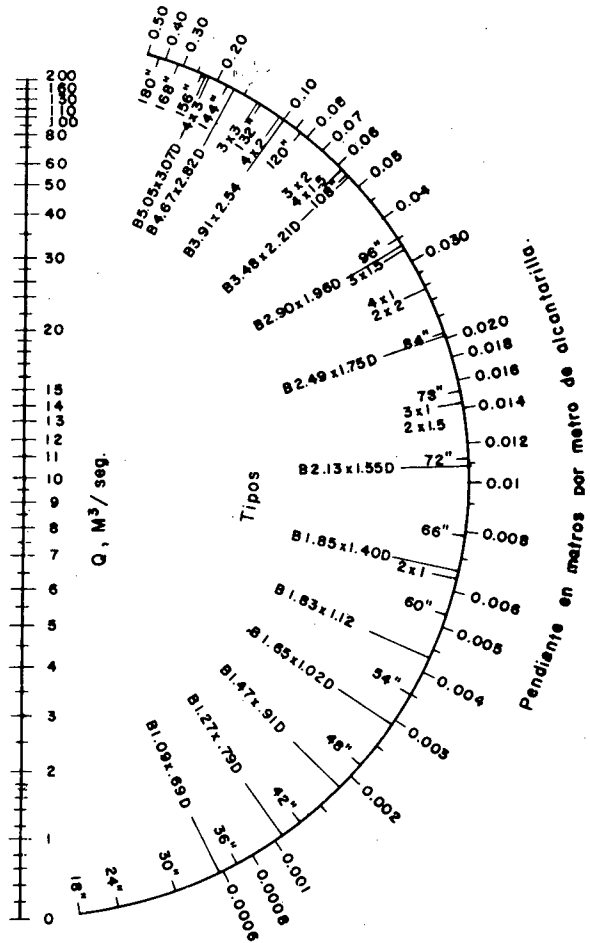
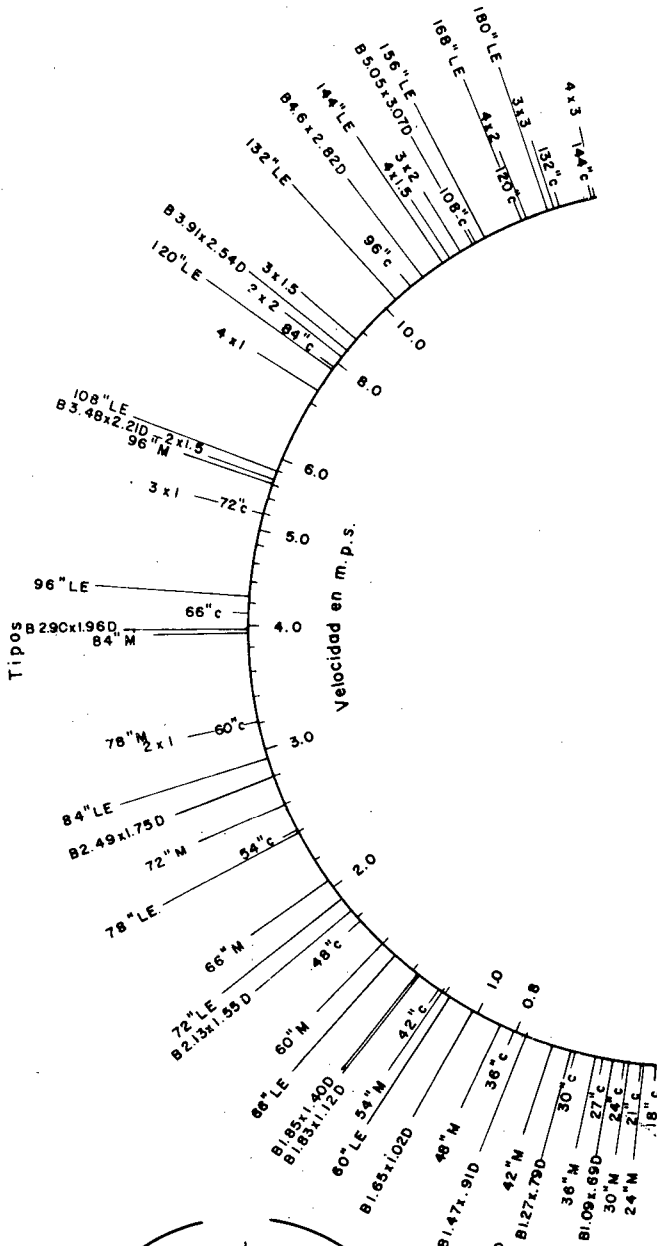
DESCRIPCION		C_E
TUBOS DE CONCRETO	 CAMPANA SALIENTE	0.2
	 ESPIGA SALIENTE (No se recomienda su uso)	0.5
	 CON ALETAS (α 0° a 90°) CAMPANA EN EL EXTREMO	0.2
	 CON ALETAS (α 0° a 90°) ESPIGA EN EL EXTREMO (No se recomienda su uso)	0.5
	 CON ALETAS (α 0° a 90°) REDONDEADA (Radio = $D/12$)	0.2
	 SECCION TERMINAL PREFABRICADA DE ACUERDO CON TALUD	0.5
TUBOS O ARCOS METAL CORRUGADO	 EXTREMO SALIENTE	0.9
	 CON ALETAS (α 0° a 90°) ✓	0.5
	 CHAFLANADO DE ACUERDO CON TALUD	0.7
	 SECCION TERMINAL PREFABRICADA DE ACUERDO CON TALUD	0.5
CAJONES DE CONCRETO ARMADO	 ALETAS O MUROS DE CABECERAS ARISTAS SIN REDONDEAR.	$\alpha = 0^\circ$ 0.7 $10^\circ < \alpha < 25^\circ$ 0.5 $30^\circ < \alpha < 75^\circ$ 0.4 $\alpha = 90^\circ$ 0.5
	 MURO DE CABECERA TRES ARISTAS REDONDEADAS (Radio = $\frac{1}{12}$ dimensión cajón)	0.2
	 ALETA, α ENTRE 30° Y 75° ARISTA SUPERIOR REDONDEADA (Radio = $\frac{1}{12}$ dimensión cajón)	0.2

TABLA III - I



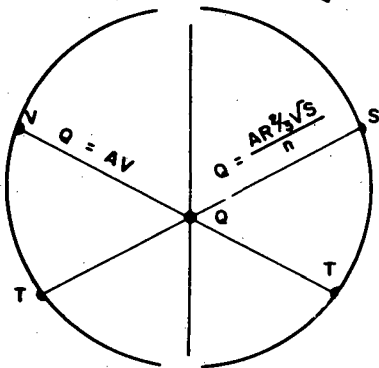
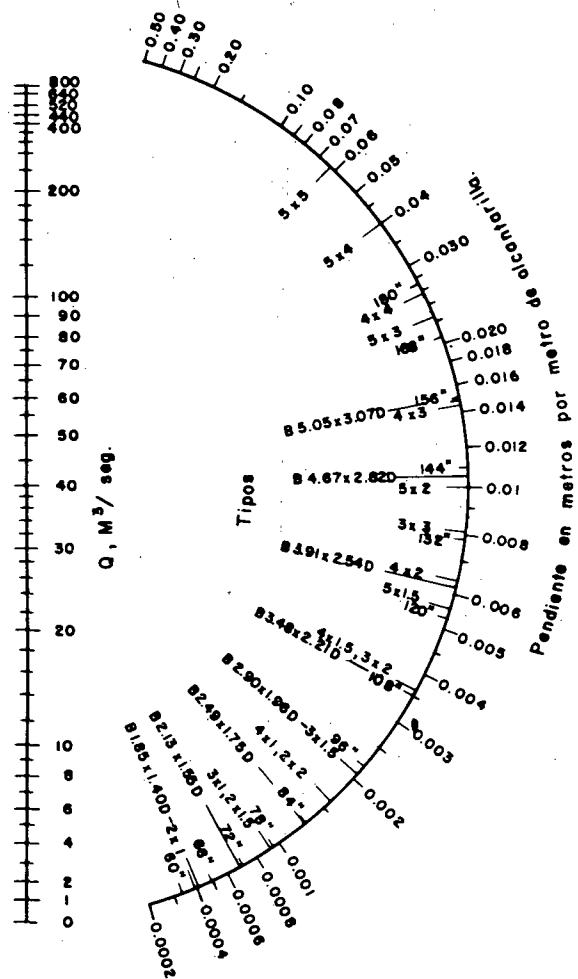
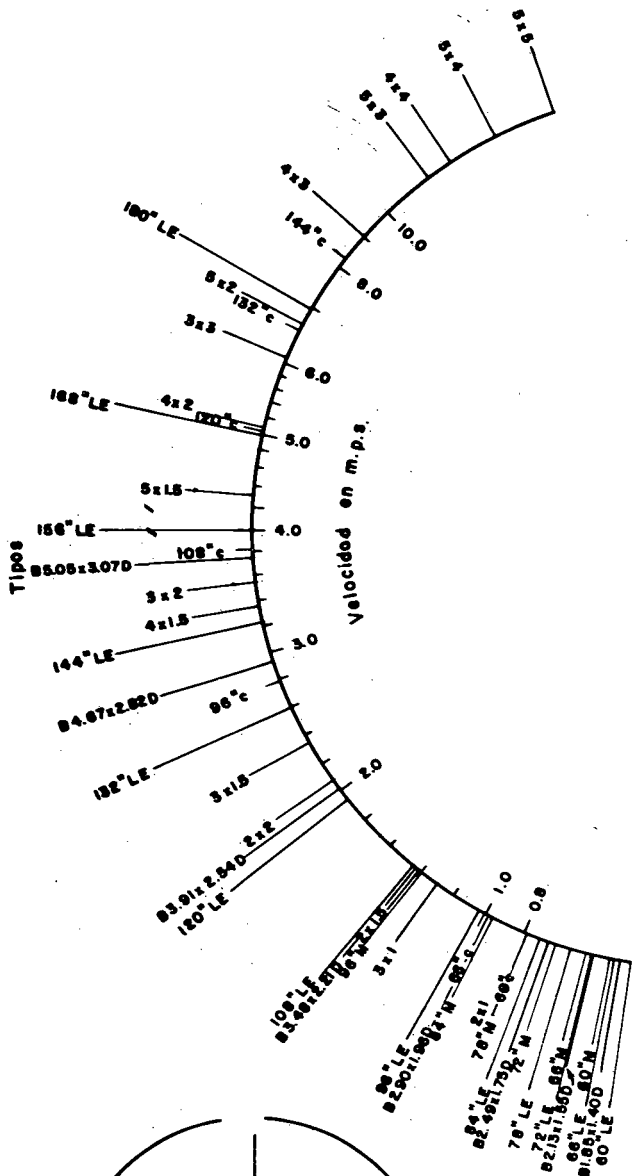
Referencia : Texas Highway Department.



- C - TUBOS DE CONCRETO, $n = 0,012$
- M - TUBOS DE METAL CORRUGADO, $n = 0,024$
- LE - TUBOS DE LAMINAS ESTRUCTURALES DE METAL CORRUGADO,
 n ENTRE 0,0328 y 0,0302
- 3 x 1 ETC. SECCIONES RECTANGULARES DE CONCRETO, $n = 0,012$
- B 3.91x2.54 D. TUBOS ABOVEDADOS DE METAL CORRUGADO.

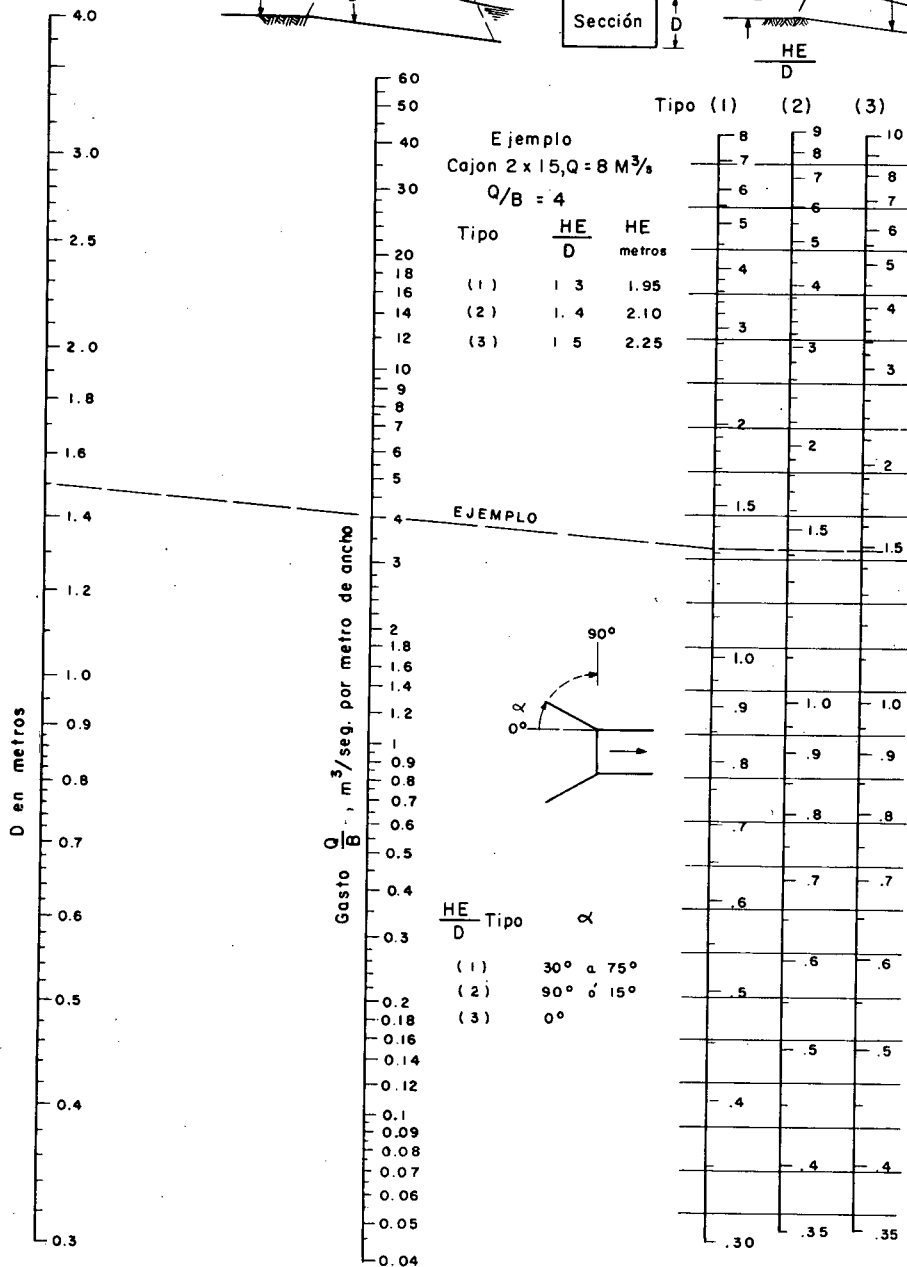
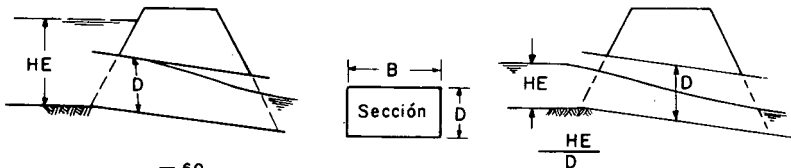
- n VARIABLE SEGUN TAMAÑO
- B 1.09 x .69 D $n = 0.024$
- B 1.83 x 1.12 D $n = 0.024$
- B 1.85 x 1.40 D $n = 0.0327$
- B 5.05 x 3.07 D $n = 0.0306$

NOMOGRAMA IV - 2
COLECTORES LLENOS
REGIMEN UNIFORME



- C - TUBOS DE CONCRETO, $n = 0,012$
- M - TUBOS DE METAL CORRUGADO, $n = 0,024$
- LE - TUBOS DE LAMINAS ESTRUCTURALES DE METAL CORRUGADO,
 n ENTRE 0,0328 y 0,0302
- 3x 1.5 ETC, SECCIONES RECTANGULARES DE CONCRETO, $n = 0,012$
- B 3.91x 2.54D - TUBOS ABOVEDADOS DE LAMINAS DE METAL CORRUGADO
 n ENTRE 0,0327 Y 0,0306

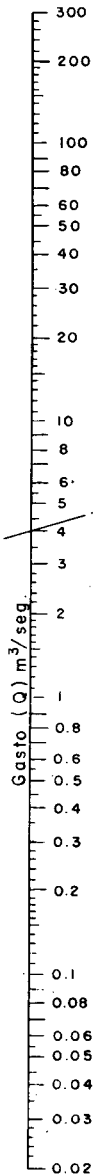
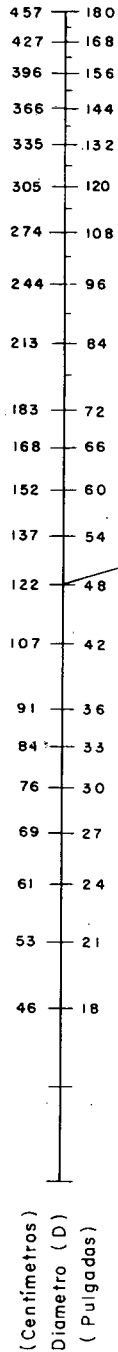
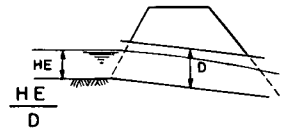
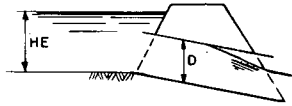
NOMOGRAMA IV- 3
COLECTORES LLENOS
REGIMEN UNIFORME



NOMOGRAMA IV-4

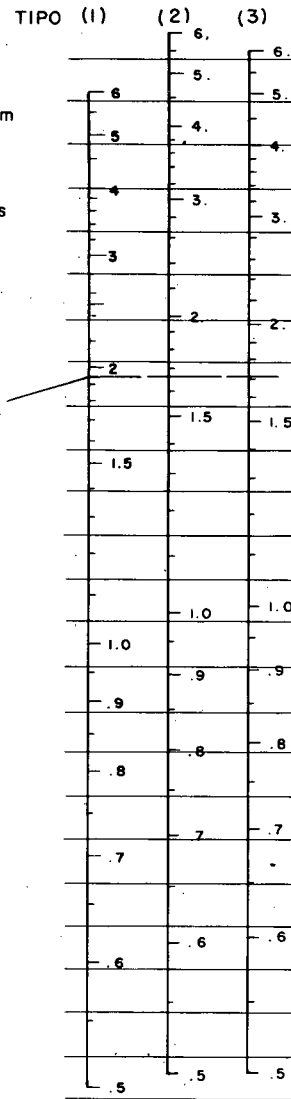
Ref. U.S. Bureau of Public Roads
Enero de 1963

CAJONES CON CONTROL A LA ENTRADA

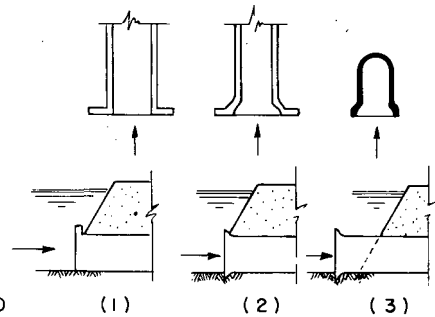


EJEMPLO
 $D = 48$ pulgadas = 122 cm
 $Q = 4,0$ m³/seg.

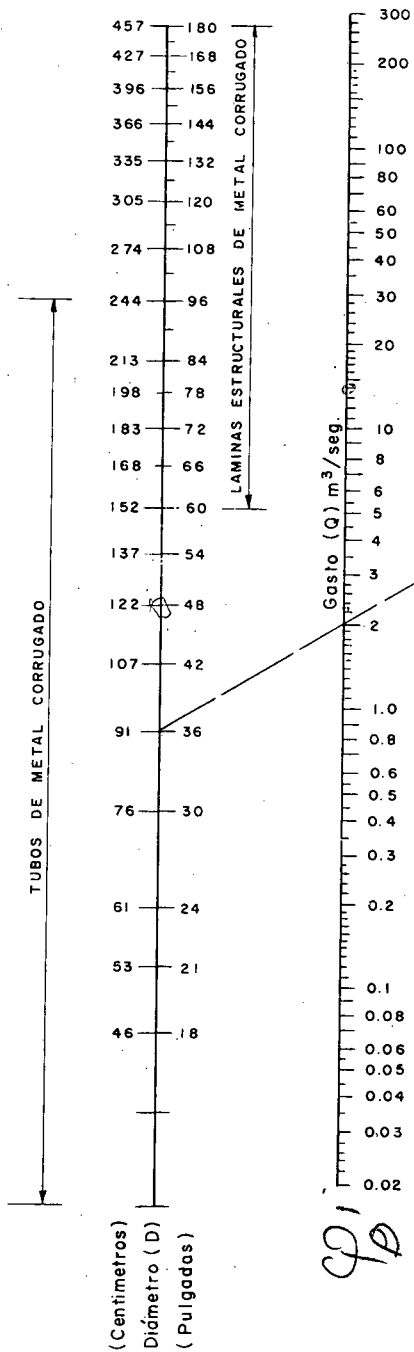
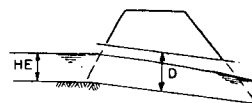
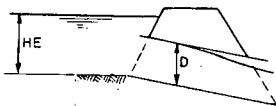
Tipo	$\frac{HE}{D}$	HE metros
(1)	1.95	2.4
(2)	1.65	2.0
(3)	1.70	2.1



NOTA.
 Los tipos (1) y (2) son válidos para cualquier ángulo que hagan los muros de cabecera.
 No se recomienda el uso del tipo (1)

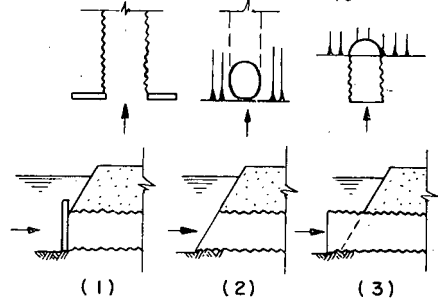
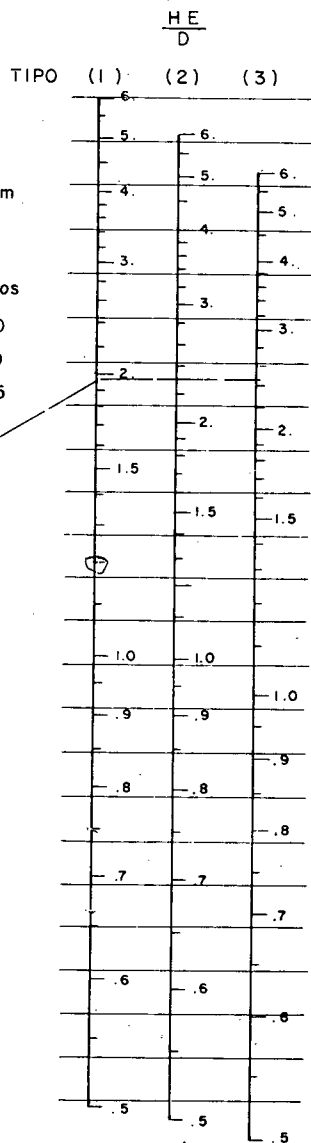


NOMOGRAMA IV - 5
TUBOS DE CONCRETO CON
CONTROL A LA ENTRADA



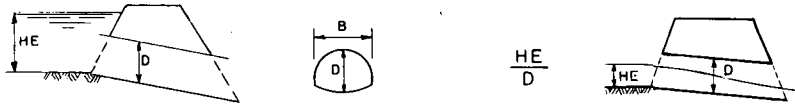
EJEMPLO
 $D = 36$ pulgadas = 91 cm
 $Q = 2,0$ m³/seg.

Tipo	$\frac{HE}{D}$	HE metros
(1)	1.97	1.80
(2)	2.30	2.10
(3)	2.46	2.25



NOMOGRAMA IV - 6
TUBOS DE METAL CORRUGADO
CON CONTROL A LA ENTRADA

Ref. U.S. Bureau of Public Roads. Enero 1963

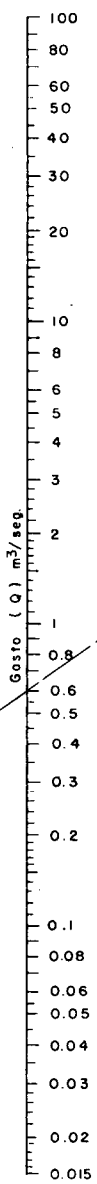


LAMINAS ESTRUCTURALES *

TUBOS ABOVEDADOS

TAMANO (LUZ x FLECHA BxD) DE SECCION ABOVEDADA (metros)

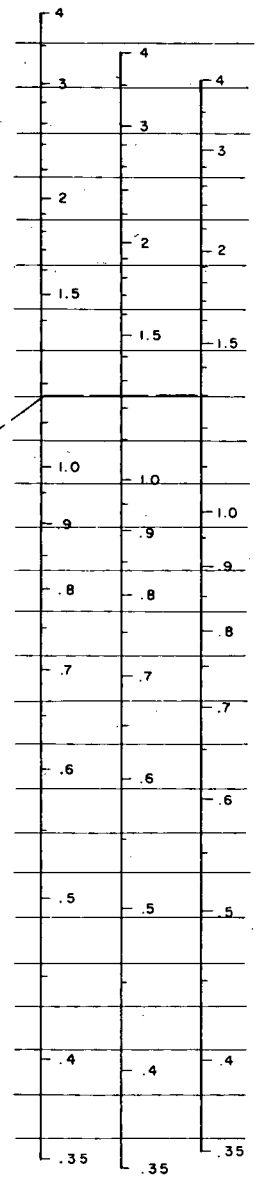
5.05 x 3.07
4.72 x 2.87
4.67 x 2.82
4.29 x 2.67
3.91 x 2.54
3.61 x 2.31
3.48 x 2.21
3.12 x 2.06
2.90 x 1.96
2.69 x 1.85
2.49 x 1.75
2.34 x 1.65
2.13 x 1.55
1.98 x 1.45
1.85 x 1.40
1.83 x 1.12
1.68 x 1.02
1.65 x 1.02
1.52 x .93
1.47 x .91
1.37 x .84
1.27 x .79
1.22 x .75
1.09 x .69
1.07 x .66
.91 x .57
.91 x .56
.76 x .50
.74 x .46
.61 x .41
.64 x .41
.56 x .33
.46 x .33
.46 x .28



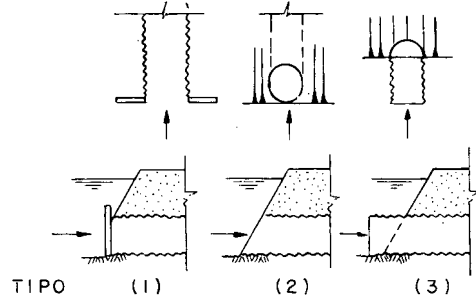
EJEMPLO
 Tamaño : .91 x 56
 Q = 0,6 m³/seg.

	$\frac{HE}{D}$	HE metros
(1)	1.17	0.65
(2)	1.25	0.70
(3)	1.30	0.73

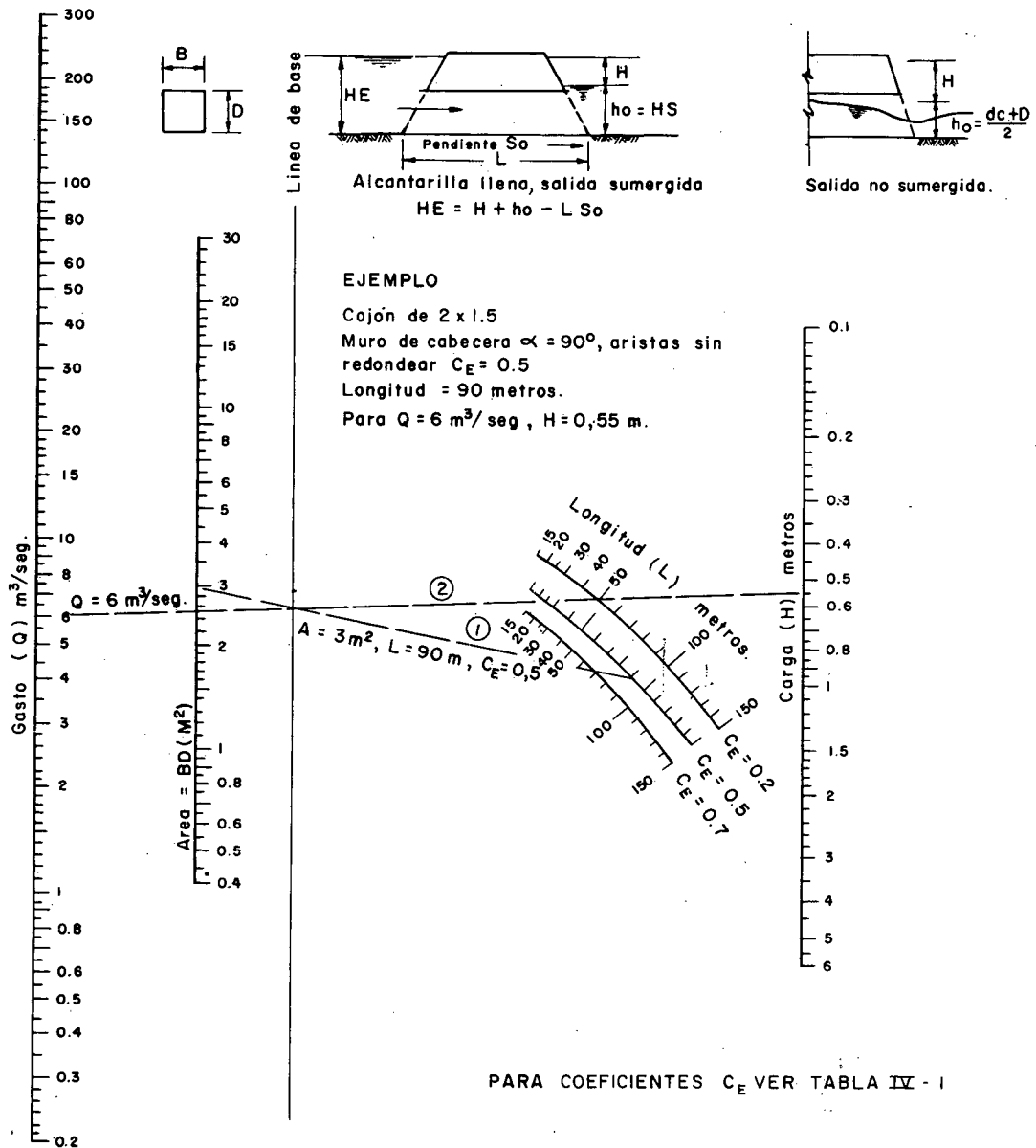
TIPO (1) (2) (3)



* Los tamaños marcados pero sin dimensiones, aparecen en los catálogos de los fabricantes.



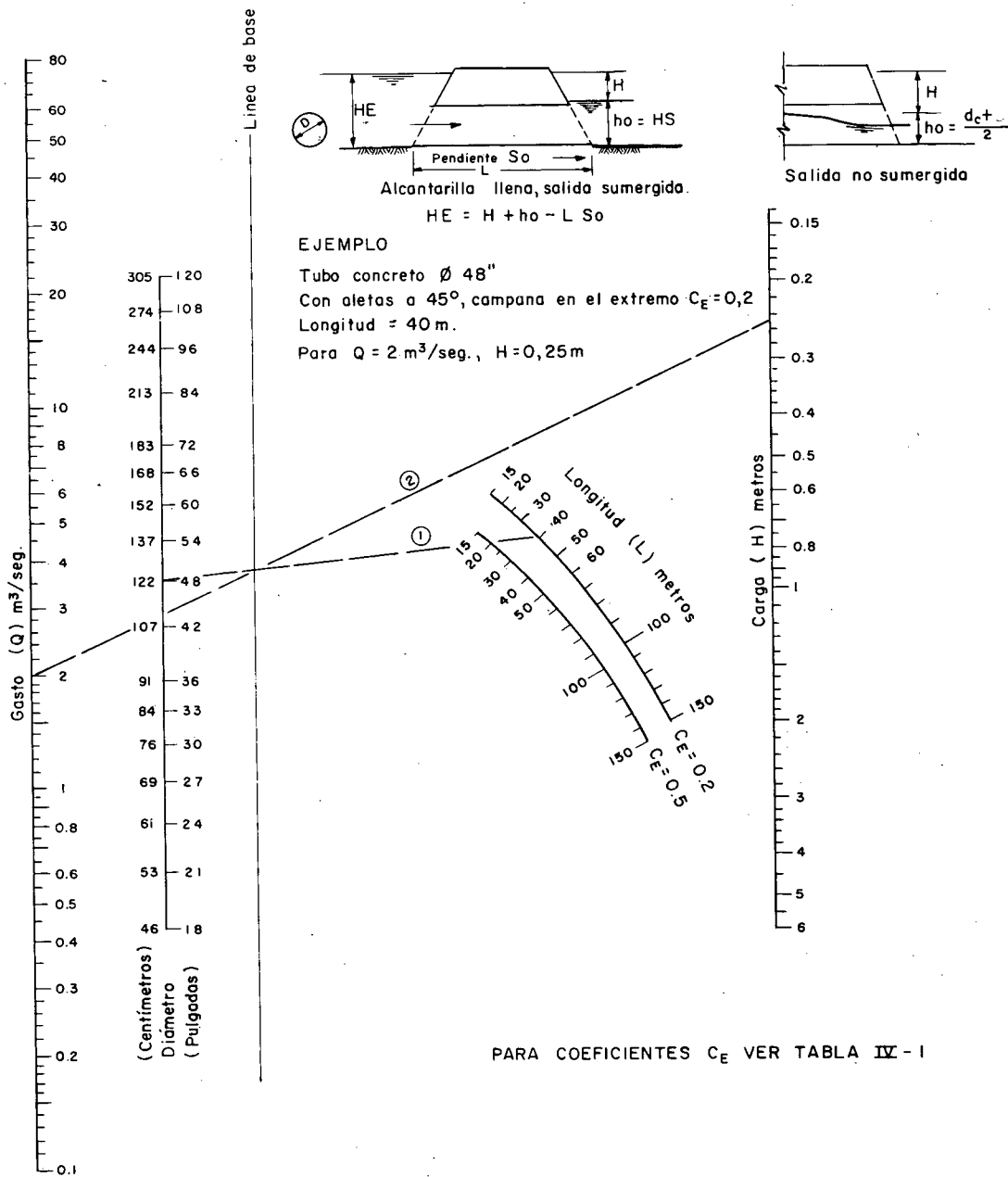
NOMOGRAMA IV-7
SECCIONES ABOVEDADAS DE METAL CORRUGADO
CON CONTROL A LA ENTRADA

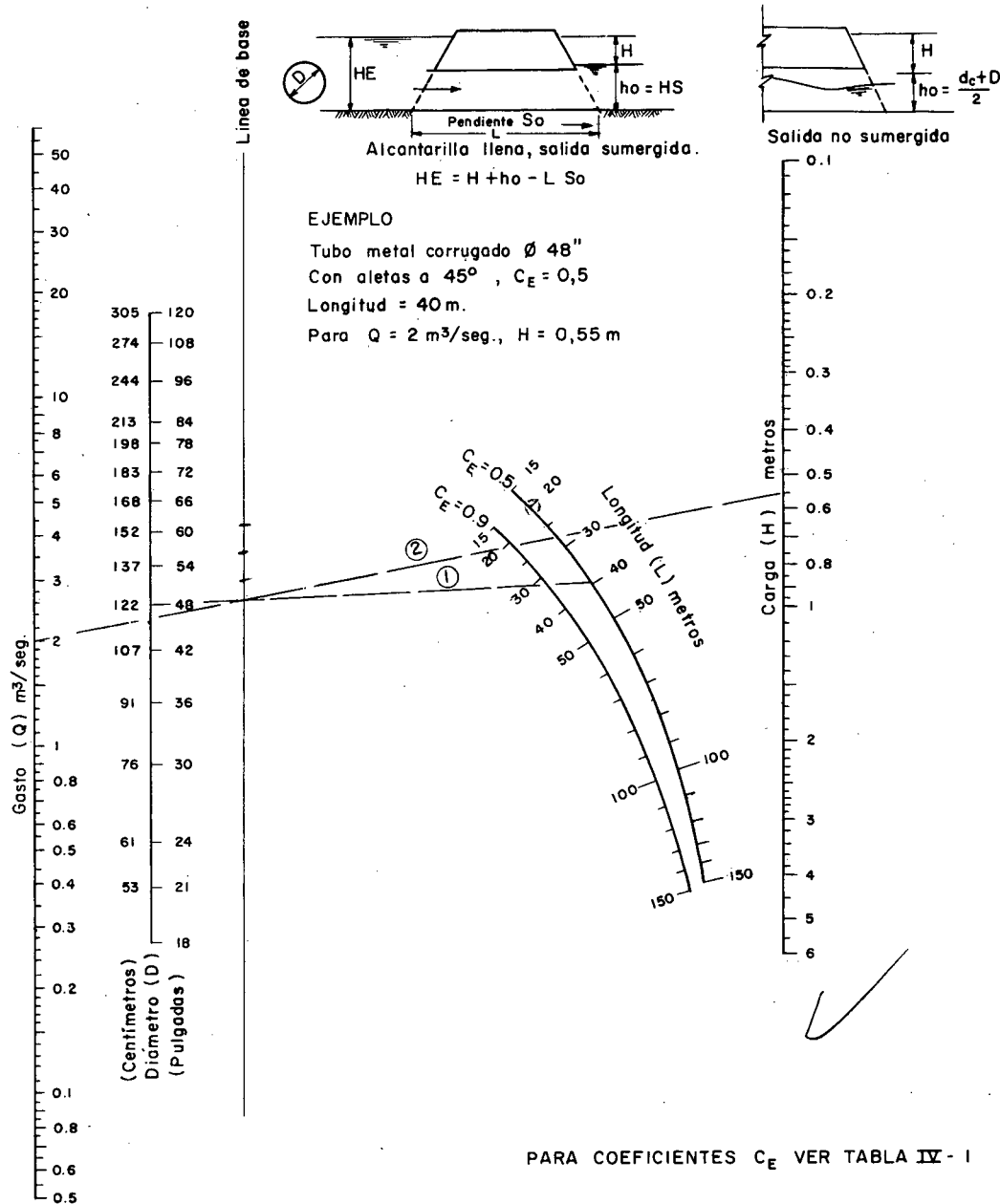


NOTA.
 Establecido para secciones cuadradas, aproximados para secciones rectangulares.
 $2D \gg B \gg \frac{2}{3}D$

F. f. U.S. Bureau of Public Roads
 Enero 1963

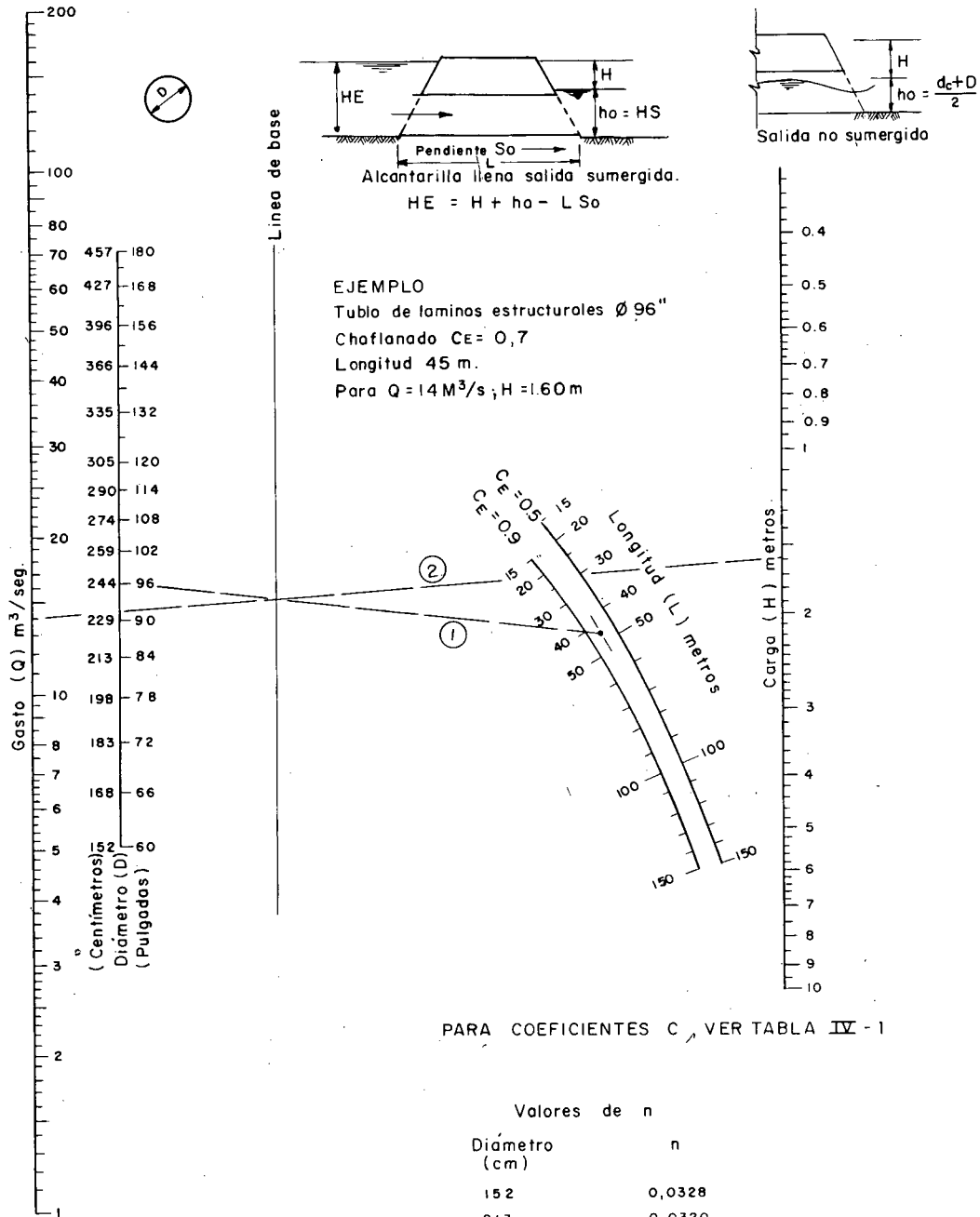
NOMOGRAMA IV - 8
CONTROL A LA SALIDA
CAJONES DE CONCRETO A SECCION PLENA
 $n = 0,012$





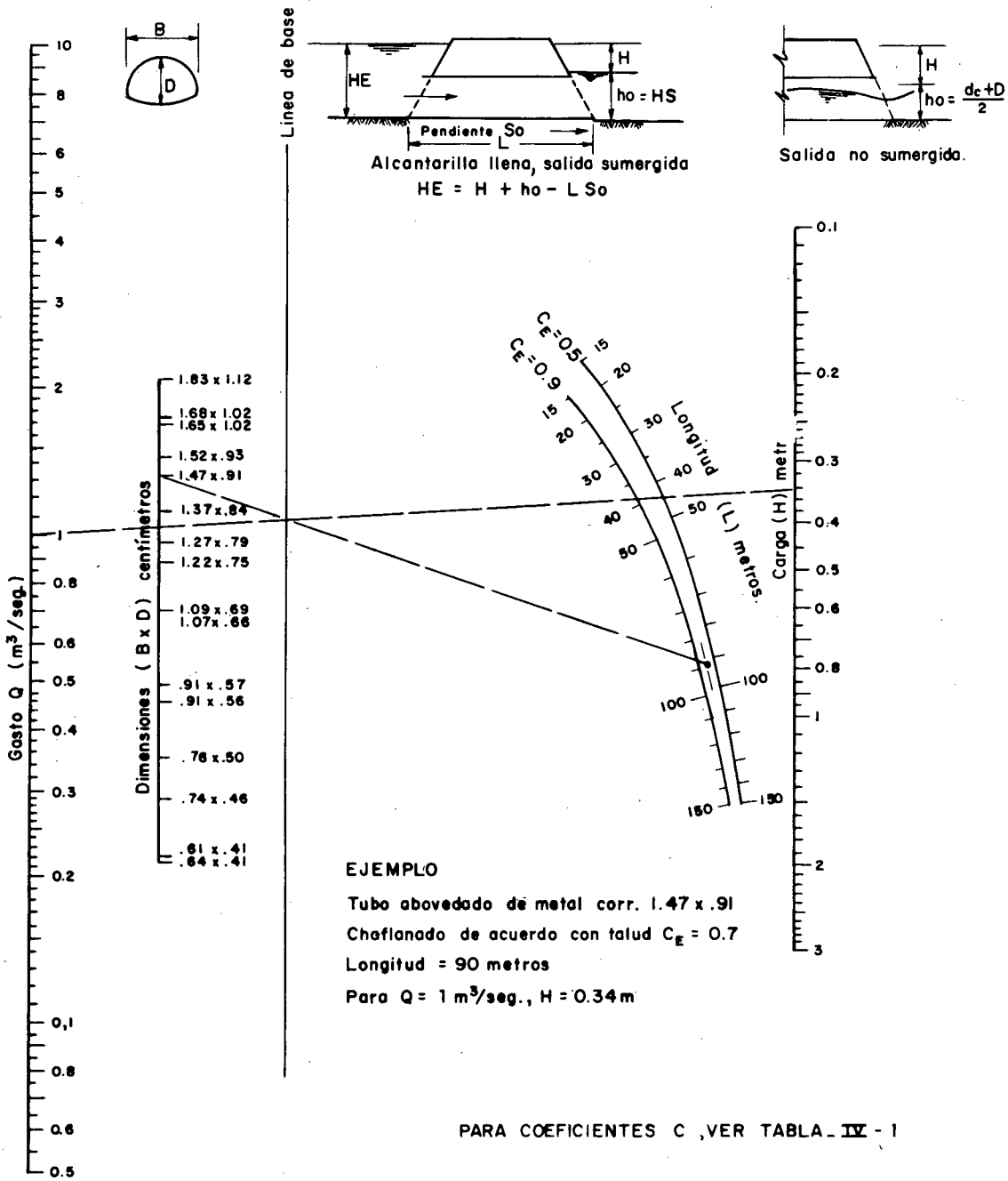
f. U.S. Bureau of Public Rods
 Enero 1963

NOMOGRAMA IV - 10
CONTROL A LA SALIDA
TUBOS DE METAL CORRUGADO A SECCION PLENA
 $n = 0,024$



Ref. U.S. Bureau of Public Roads
 Enero 1963

NOMOGRAMA IV-11
 CONTROL A LA SALIDA
 TUBOS DE LAMINAS ESTRUCTURALES DE
 METAL CORRUGADO A SECCION PLENA
 $n = 0,0328$ a $n = 0,0302$

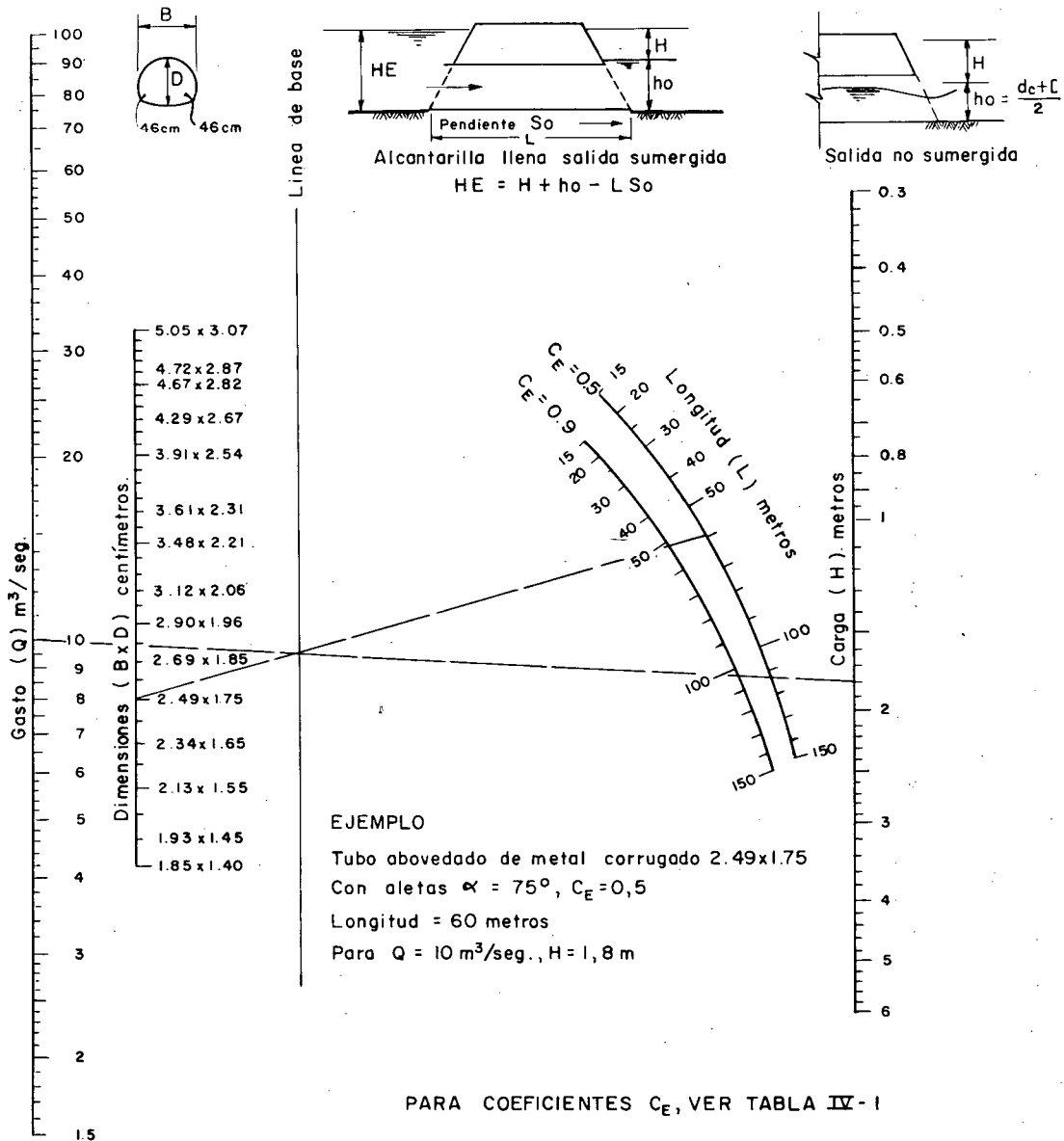


**NOMOGRAMA IV-12
 CONTROL A LA SALIDA**

SECCIONES ABOVEDADAS DE METAL CORRUGADO

A SECCION PLENA

$n = 0,024$



NOMOGRAMA IV-13
CONTROL A LA SALIDA
SECCIONES ABOVEDADAS DE LAMINAS ESTRUCTURALES
DE METAL CORRUGADO A SECCION PLENA

$n = 0,0327$ a $n = 0,0306$

PROFUNDIDAD CRITICA

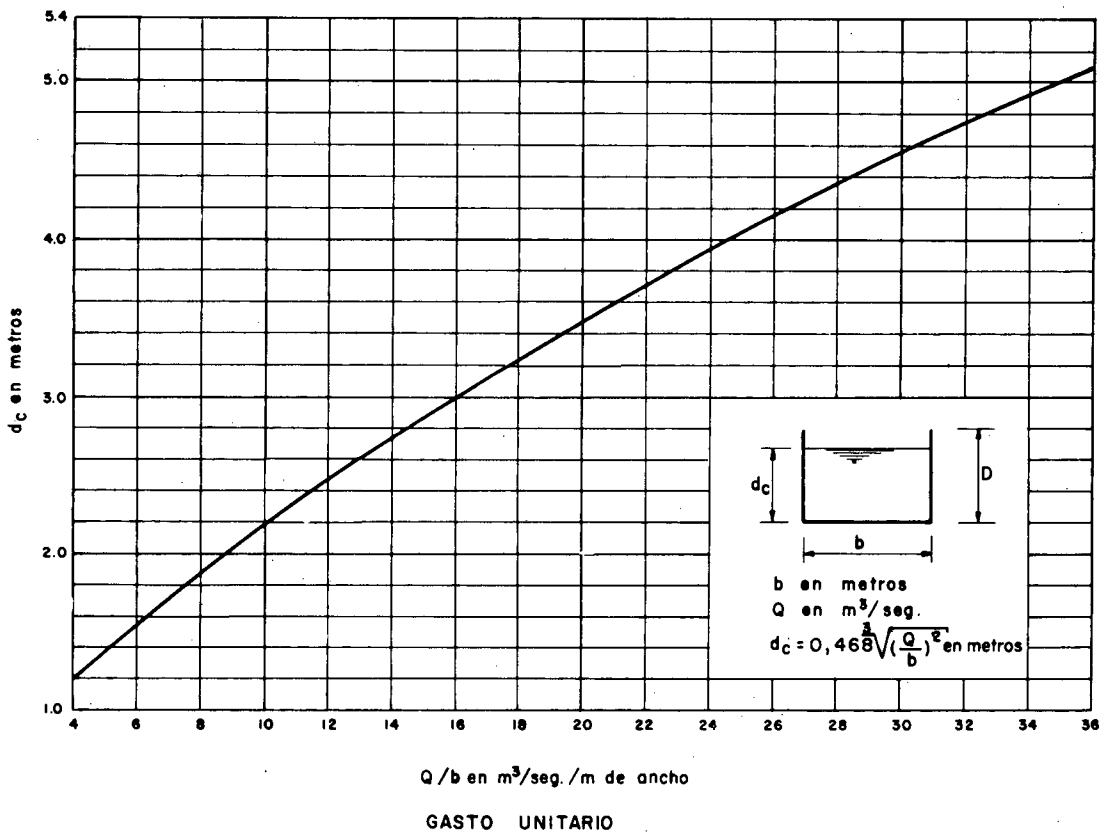
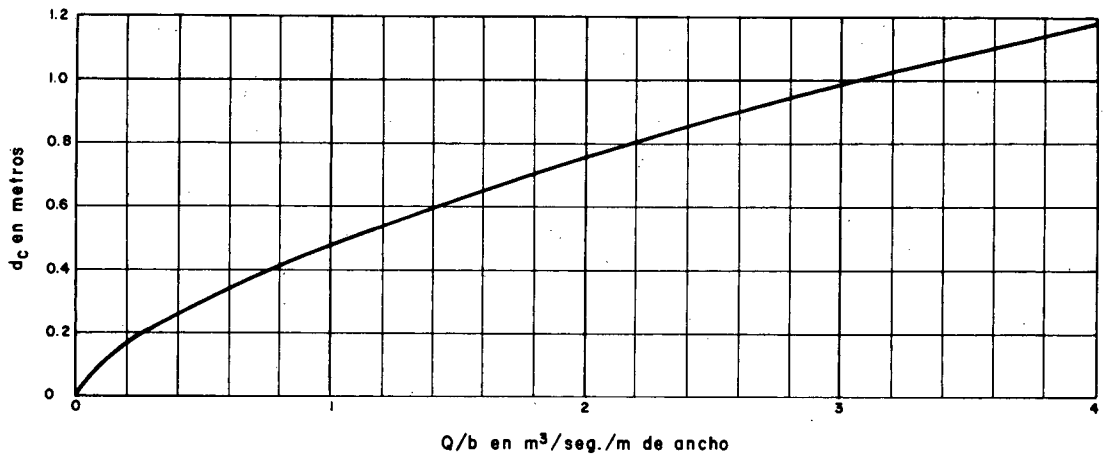
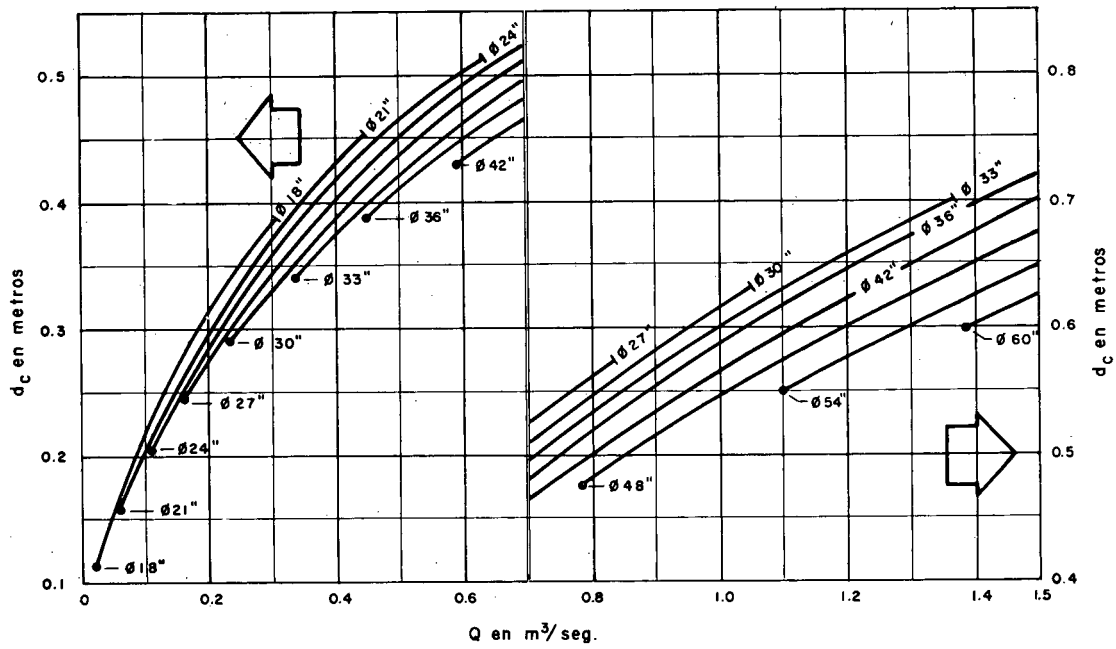
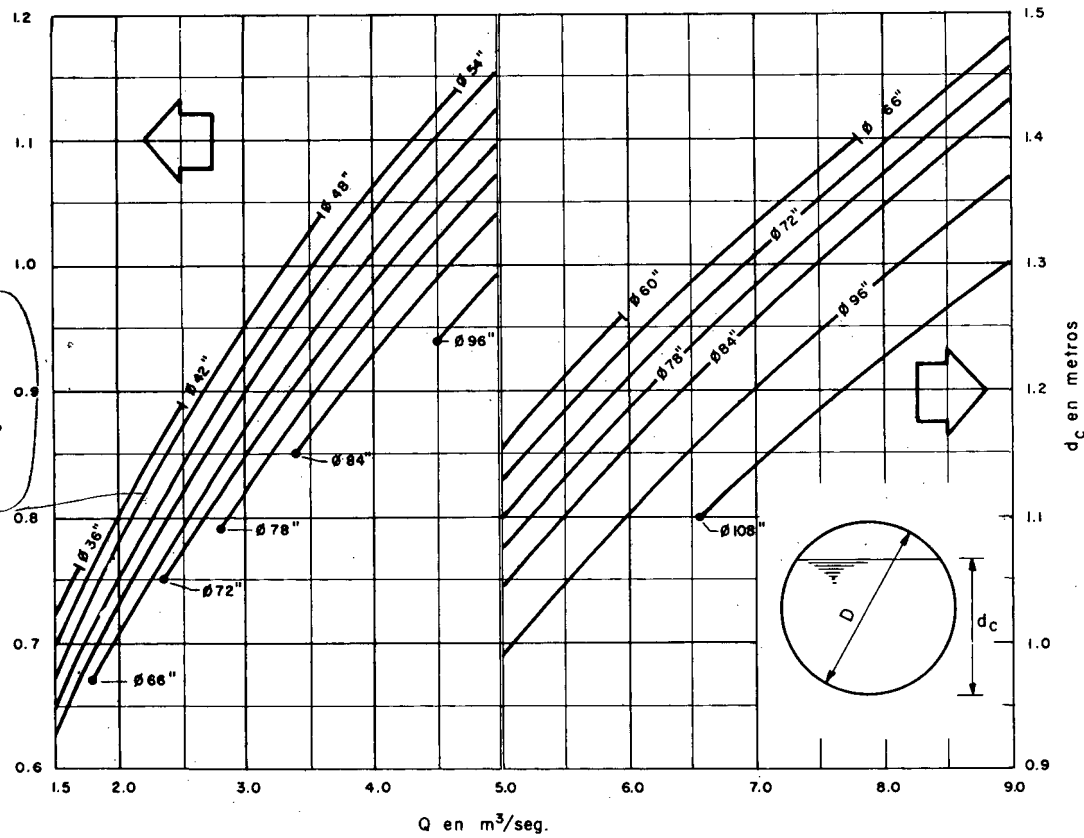


GRAFICO IV-1
 PROFUNDIDAD CRITICA
 CANALES RECTANGULARES

PROFUNDIDAD CRITICA



d_c en metros



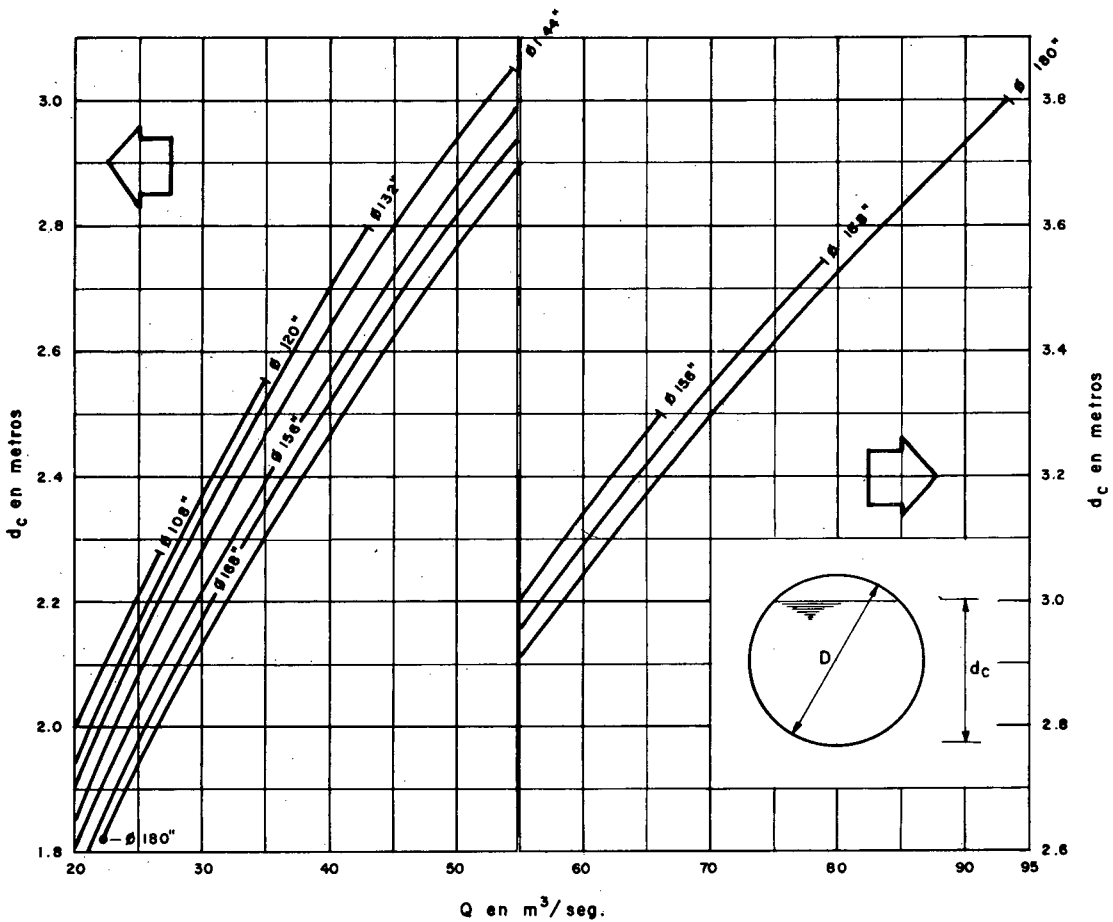
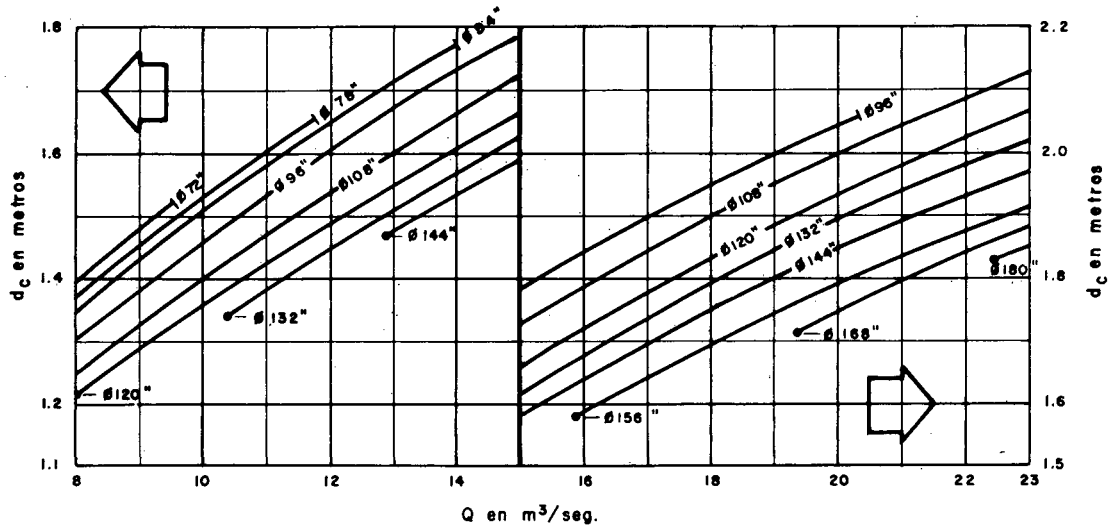
NOTA: Para valores de d_c fuera del gráfico usar $d_c = D$

Q en m^3/seg .

GASTO

GRAFICO IV-2a
 PROFUNDIDAD CRITICA
 CONDUCTOS CIRCULARES

PROFUNDIDAD CRITICA

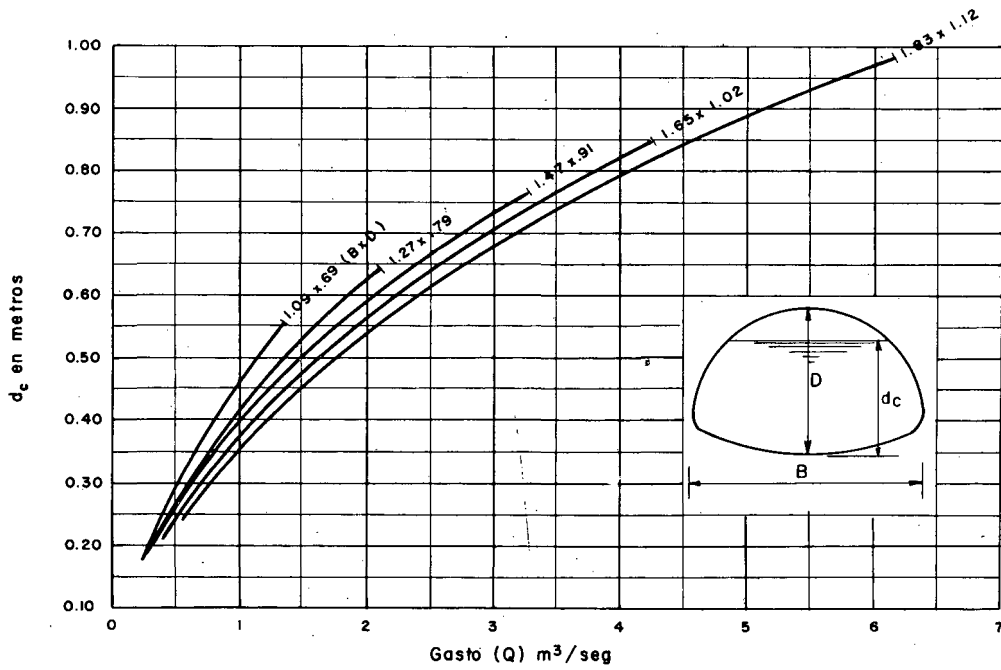
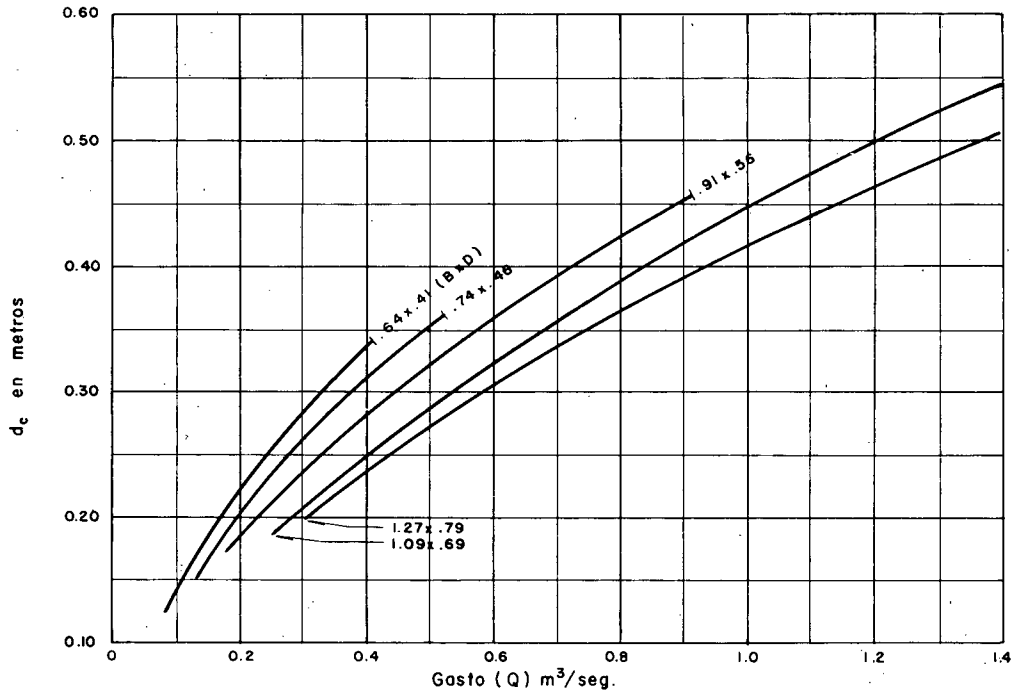


NOTA: Para valores de d_c fuera del gráfico usar $d_c = D$

GASTO

GRAFICO IV - 2b
 PROFUNDIDAD CRITICA
 CONDUCTOS CIRCULARES

PROFUNDIDAD CRITICA



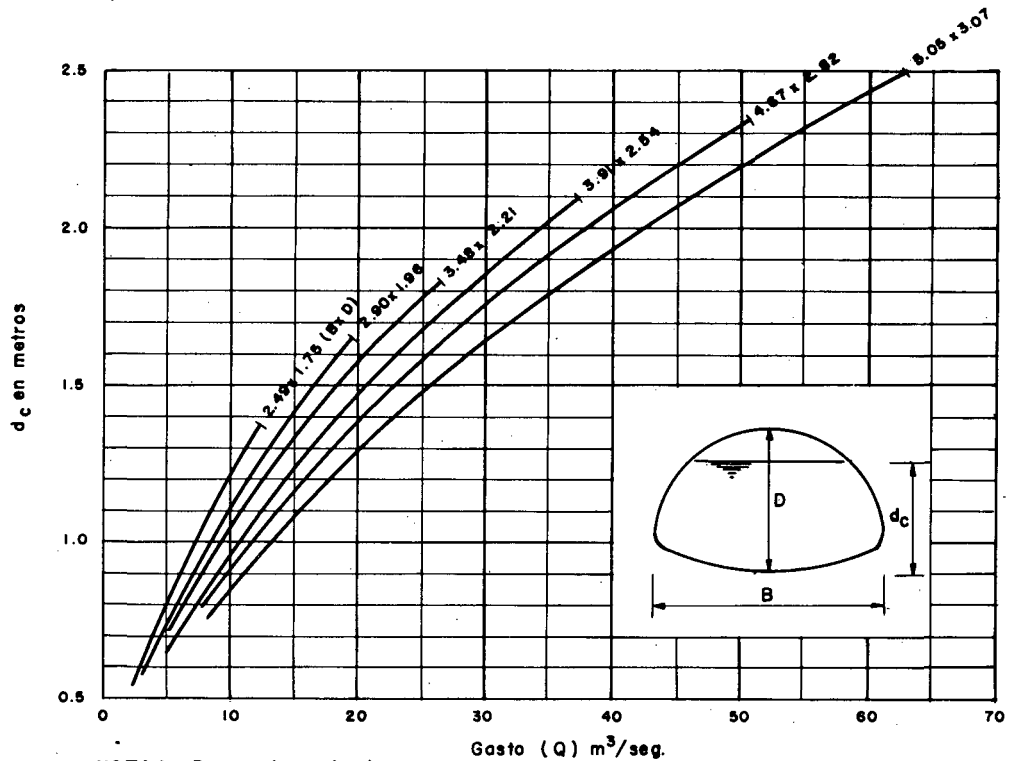
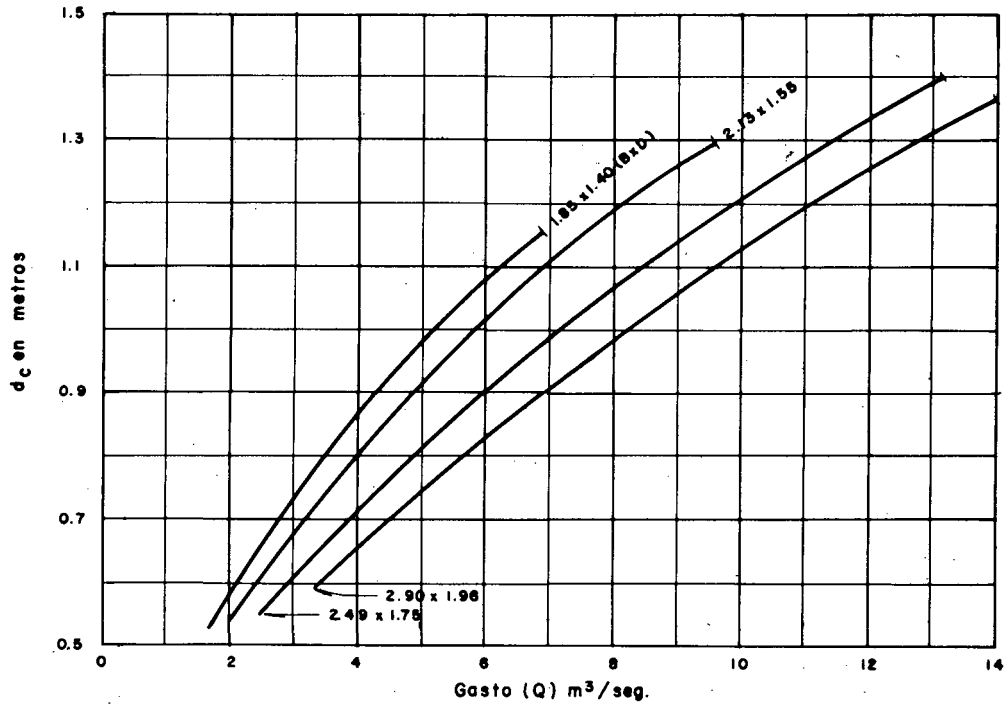
NOTA: Para valores de d_c fuera del gráfico usar $d_c = D$

GRAFICO IV-3a
PROFUNDIDAD CRITICA

Ref. U.S. Bureau of Publics Roads.
Enero 1964.

SECCIONES ABOVEDADAS DE METAL CORRUGADO

PROFUNDIDAD CRITICA



NOTA: Para valores de d_c fuera del gráfico usar $d_c = D$

GRAFICO IV - 3b
PROFUNDIDAD CRITICA

SECCIONES ABOVEDADAS DE LAMINAS ESTRUCTURALES DE METAL CORRUGADO

Ref. U.S. Bureau of Publics Roads
Enero 1964

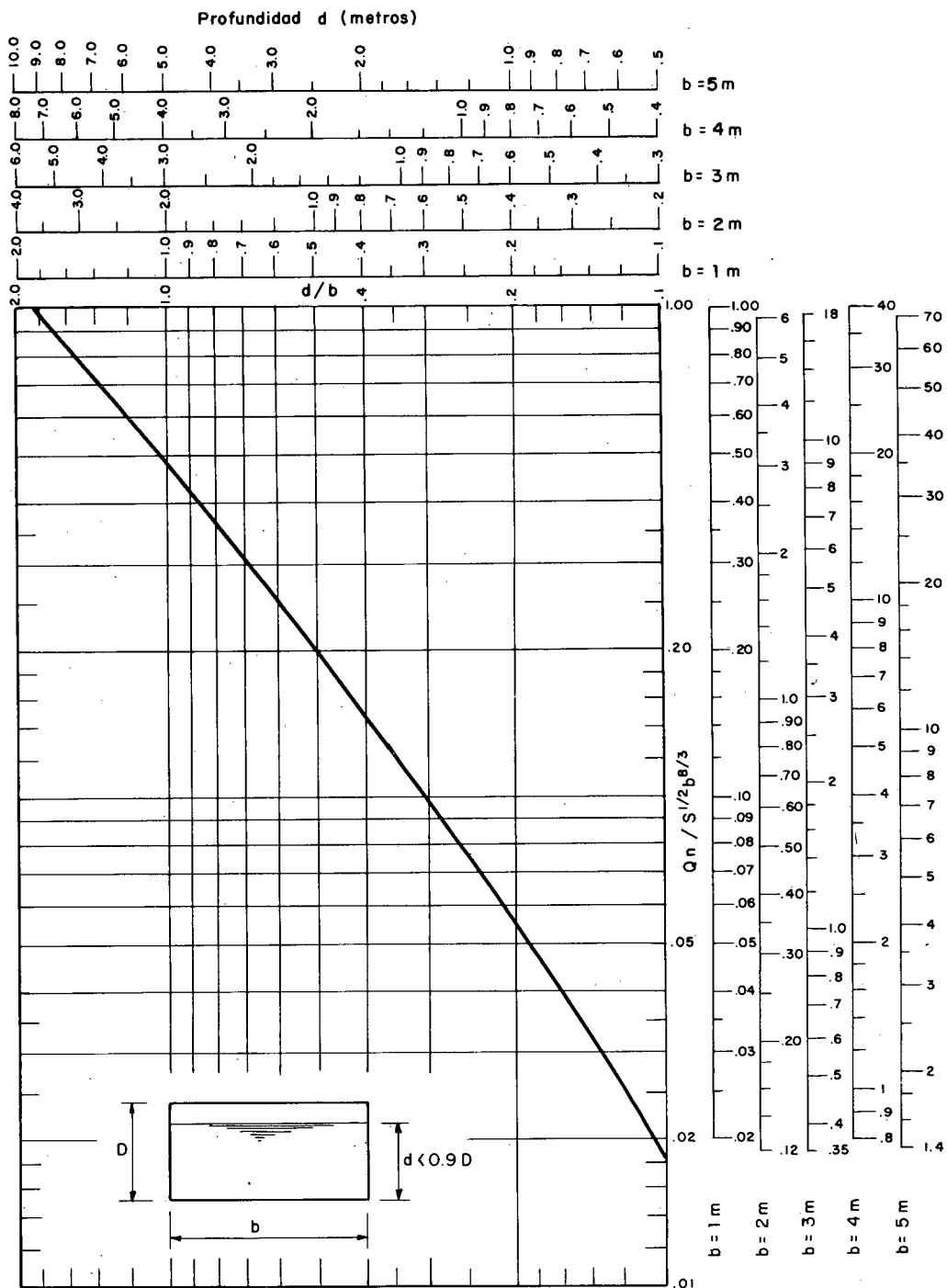
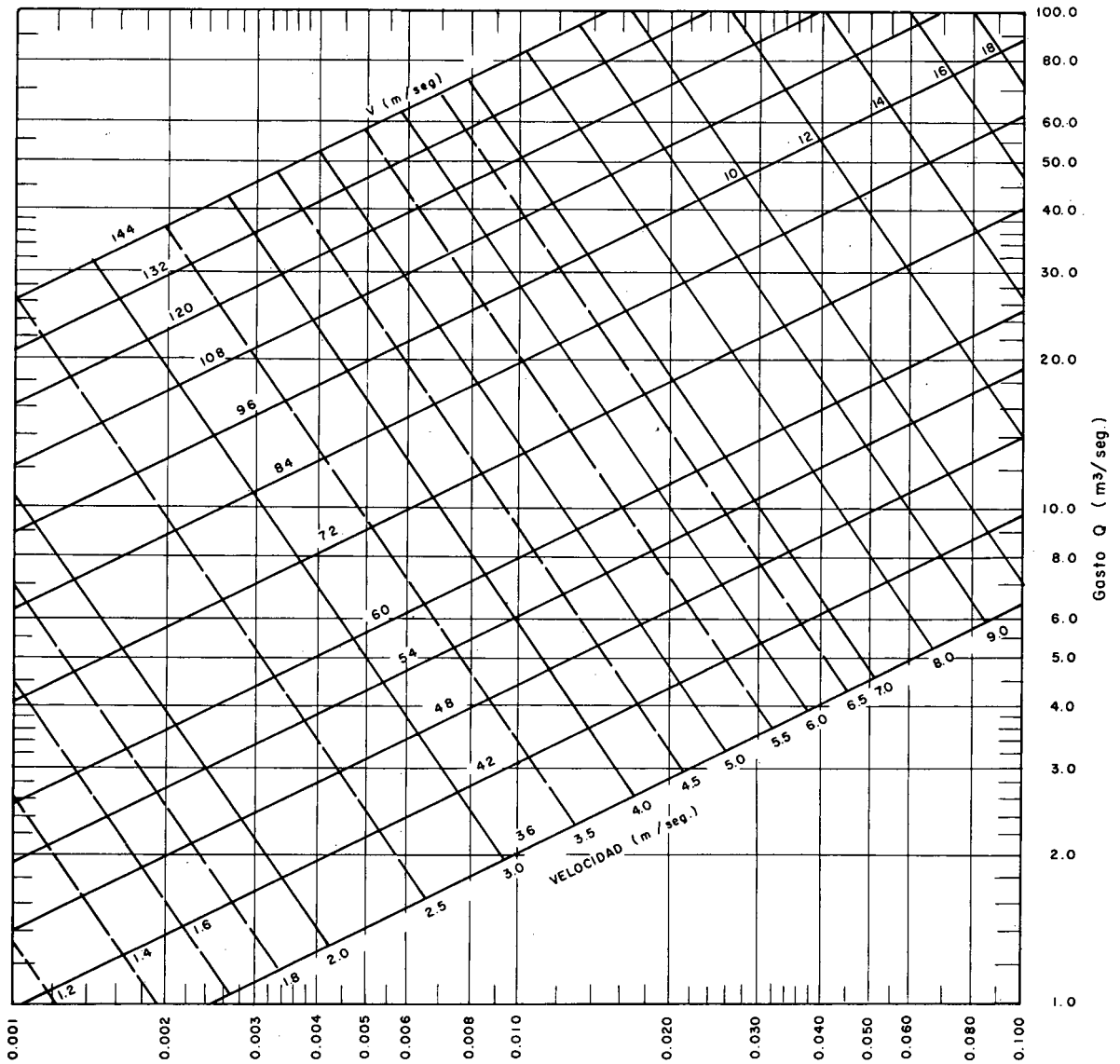


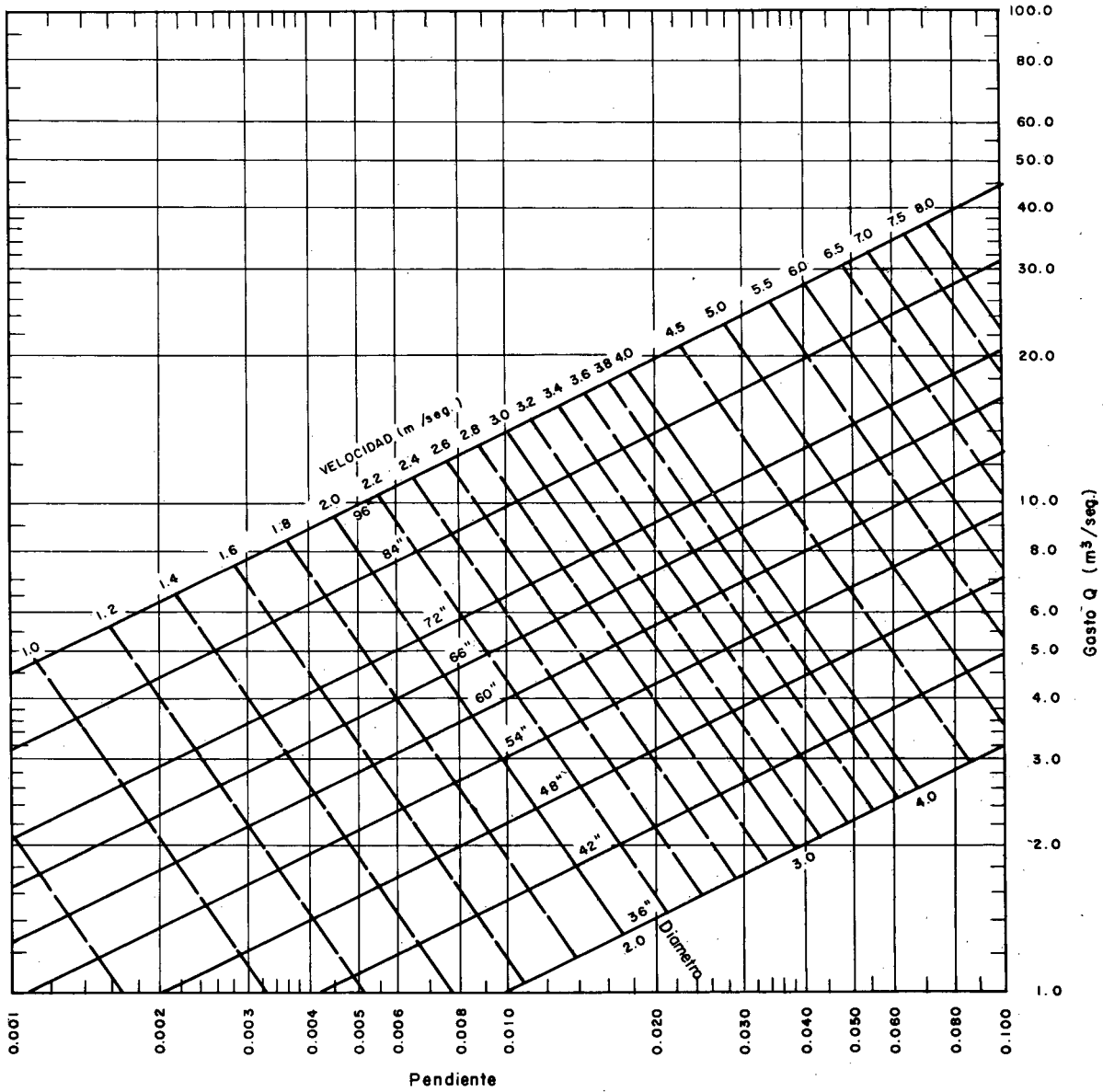
GRAFICO IV - 4
 PROFUNDIDAD NORMAL
 SECCIONES RECTANGULARES



Pendiente

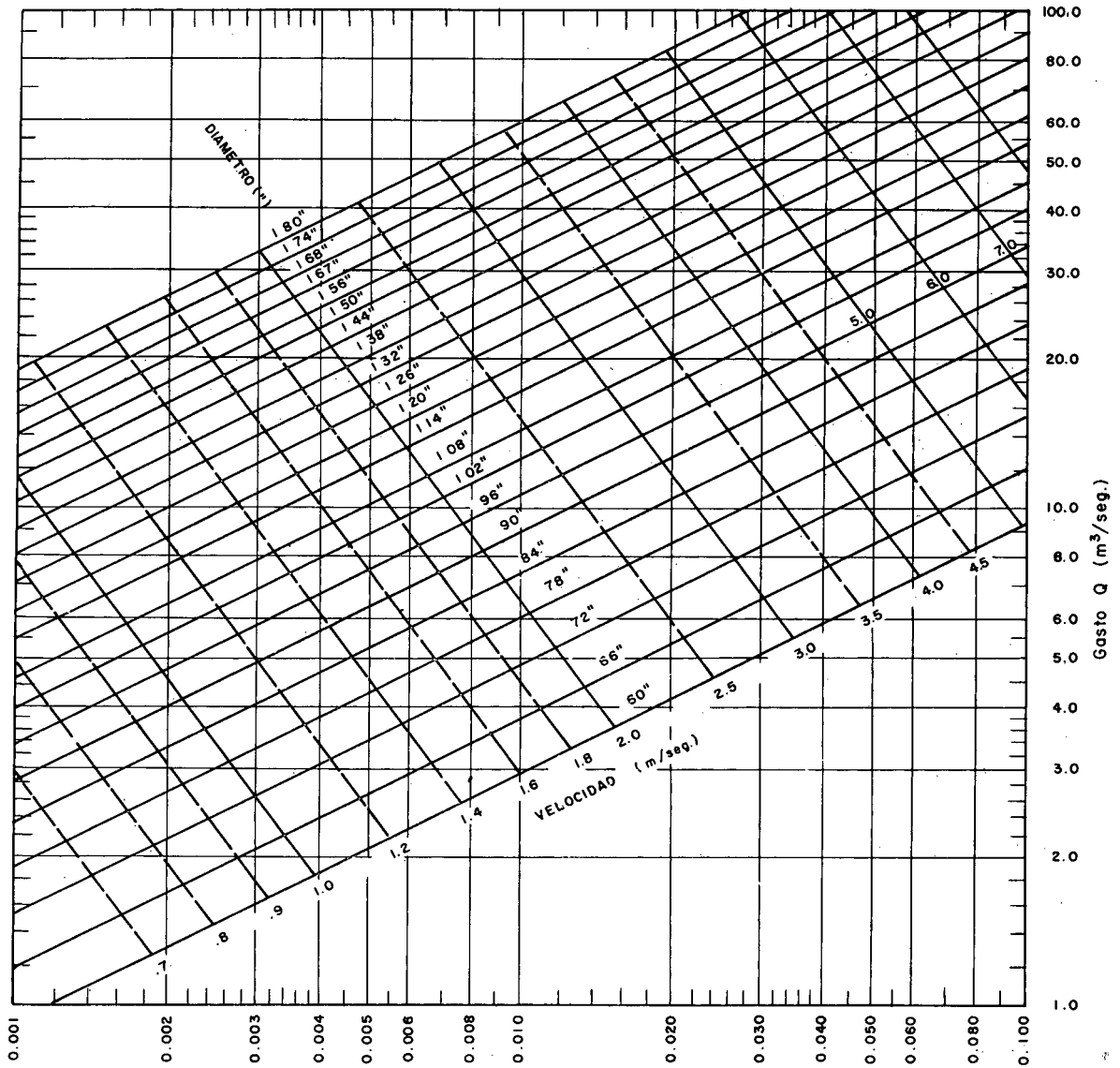
DIAMETRO		A m ²	$\frac{AR^{2/3}}{n}$
Pulgadas	Metros		
36	0.91	0.657	20.4
42	1.07	0.894	30.9
48	1.22	1.171	44.1
54	1.37	1.477	60.5
60	1.52	1.821	80.0
72	1.83	2.629	129.6
84	2.13	3.577	196.0
96	2.44	4.673	280.
108	2.74	5.91	383.
120	3.05	7.30	507.
132	3.35	8.83	654.
144	3.66	10.51	825.

GRAFICO IV-5
SECCIONES CIRCULARES
DE CONCRETO
A SECCION PLENA
n = 0.012



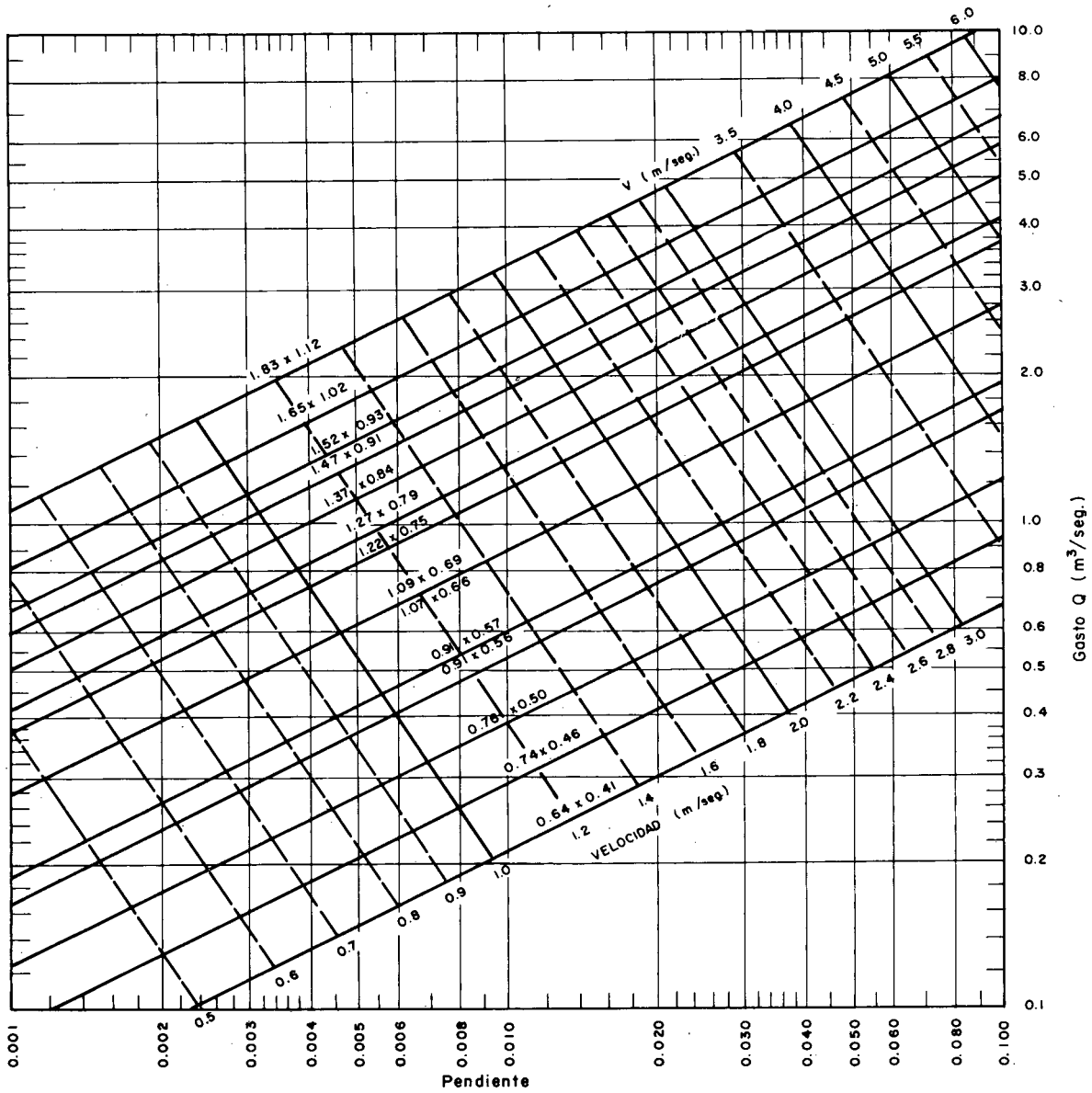
DIAMETRO		Area m ²	$\frac{AR^{2/3}}{n}$
Pulgadas	Metros		
36	0.91	0.657	10.19
42	1.07	0.894	15.42
48	1.22	1.171	22.1
54	1.37	1.477	30.2
60	1.52	1.821	40.0
66	1.68	2.211	51.5
72	1.83	2.629	64.8
84	2.13	3.577	98.0
96	2.44	4.673	140.2

GRAFICO IV - 6
SECCIONES CIRCULARES
DE METAL CORRUGADO
A SECCION PLENA
n = 0,024



DIAMETRO		Area m ²	n	AR ^{2/3} / n
Pulgadas	metros			
60	1.52	1.82	0.0328	29.2
66	1.68	2.21	0.0326	37.9
72	1.83	2.63	0.0324	48.0
78	1.98	3.08	0.0322	60.0
84	2.13	3.58	0.0320	73.5
90	2.29	4.10	0.0318	88.6
96	2.44	4.67	0.03165	106.0
102	2.59	5.27	0.0315	125.1
108	2.74	5.91	0.0314	142.1
114	2.90	6.61	0.0312	170.9
120	3.05	7.30	0.0311	195.7
126	3.20	8.04	0.0310	223.
132	3.35	8.83	0.0309	254.
138	3.51	9.67	0.0308	288.
144	3.66	10.51	0.0307	324.
150	3.81	11.40	0.0306	361.
156	3.96	12.33	0.0305	400.
162	4.11	13.27	0.0304	443.
168	4.27	14.30	0.0303	490.
174	4.42	15.34	0.03025	542.
180	4.57	16.42	0.0302	595.

GRAFICO IV-7
TUBOS DE LAMINAS ESTRUCTURALES
DE METAL CORRUGADO A SECCION PLENA
 n = 0.0328 a n = 0,0302



DIMENSIONES (metros)	A m ²	$\frac{AR^{2/3}}{n}$
0.64 x 0.41	0.20	2.10
0.74 x 0.46	0.26	2.89
0.91 x 0.56	0.41	5.26
1.09 x 0.69	0.59	8.74
1.27 x 0.79	0.81	13.10
1.47 x 0.91	1.06	18.70
1.65 x 1.02	1.33	25.40
1.83 x 1.12	1.64	33.60

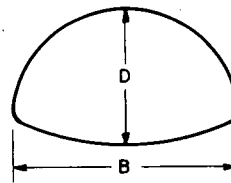
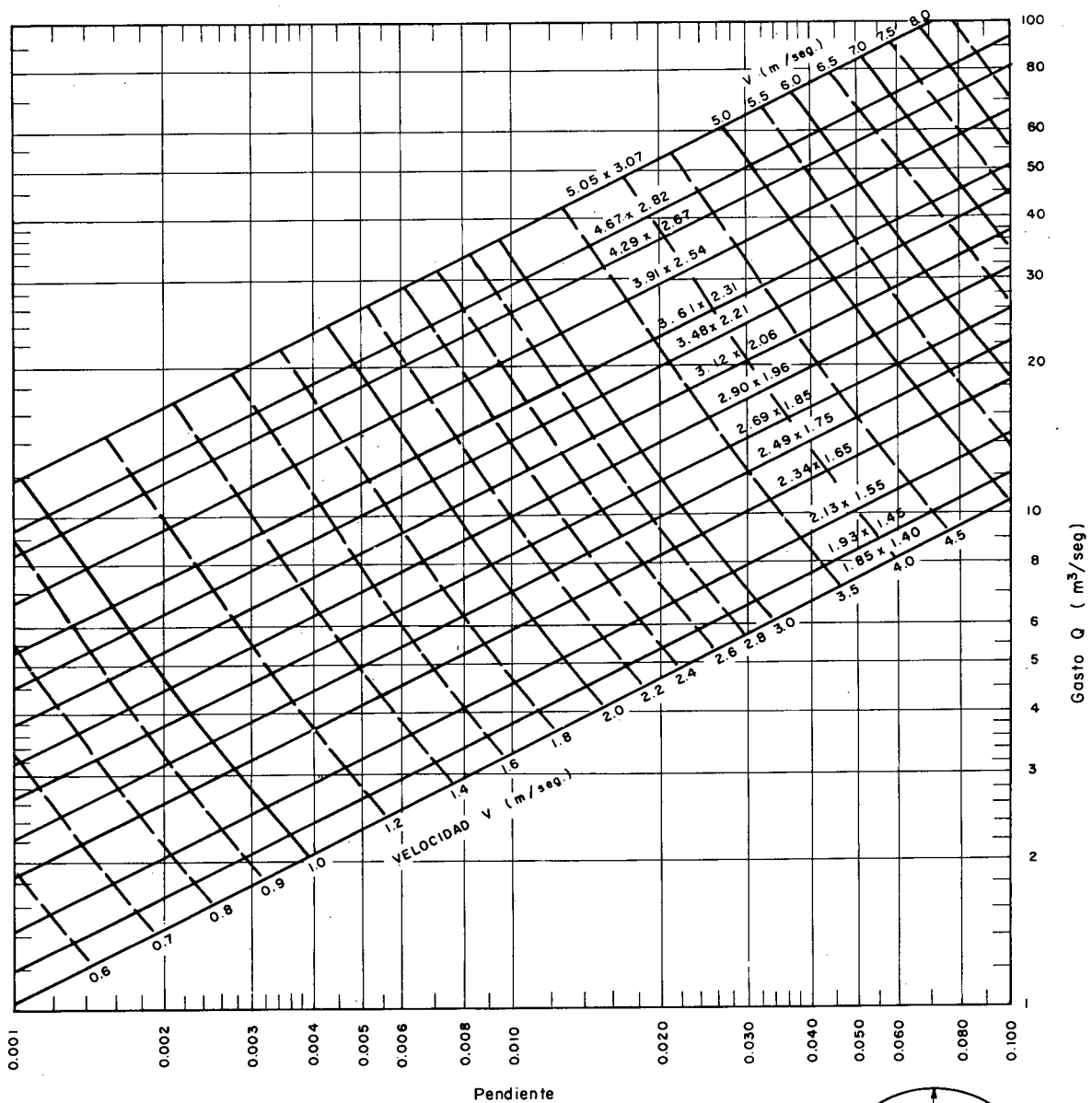


GRAFICO IV-8
SECCIONES ABOVEDADAS
DE METAL CORRUGADO
A SECCION PLENA
 $n = 0,024$



Nº	DIMENSIONES (metros)	A m ²	n	$\frac{AR^{2/3}}{n}$
(1)	1.85 x 1.40	2.04	0.0327	33.2
(2)	2.13 x 1.55	2.60	0.0324	46.0
(3)	2.49 x 1.75	3.53	0.0321	70.2
(4)	2.90 x 1.96	4.55	0.0318	99.0
(5)	3.48 x 2.21	5.95	0.0315	142.4
(6)	3.91 x 2.54	7.90	0.0312	209.0
(7)	4.67 x 2.82	10.13	0.0308	294.0
(8)	5.05 x 3.07	12.17	0.0306	377.0

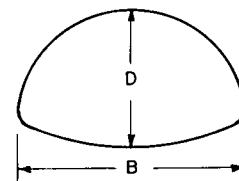
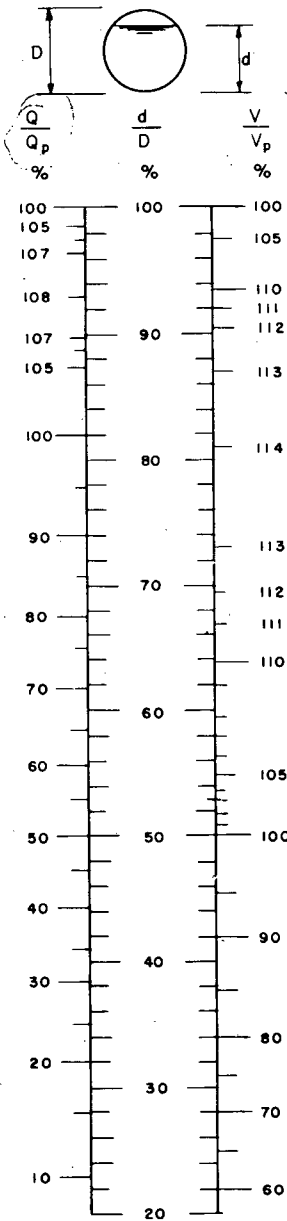
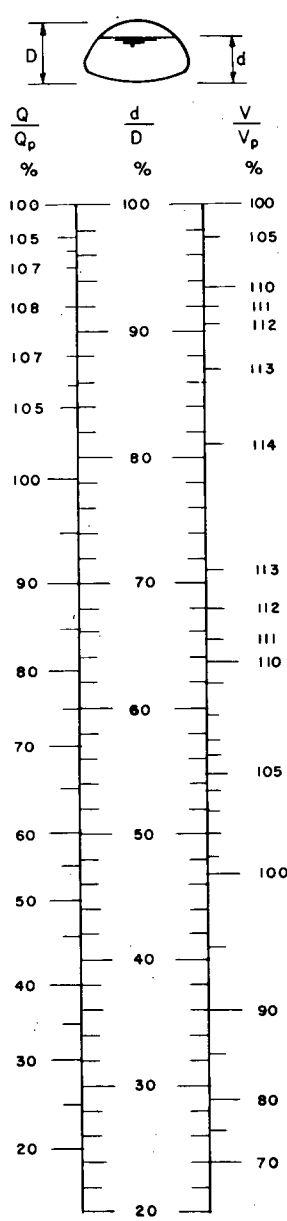


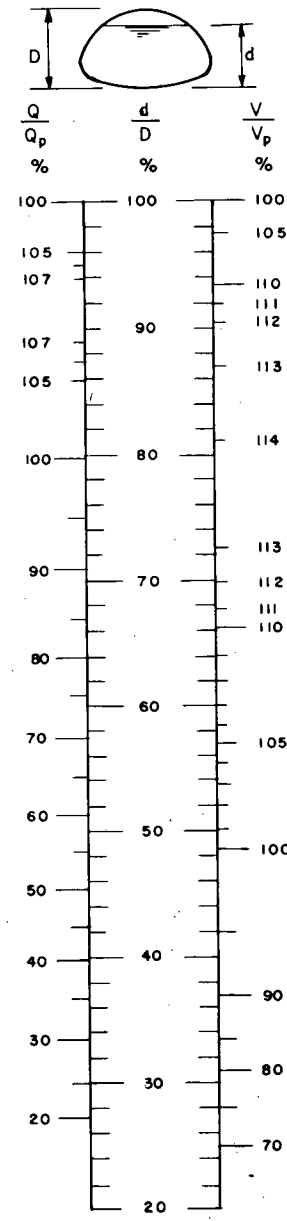
GRAFICO IV -9
SECCIONES ABOVEDADAS
DE LAMINAS ESTRUCTURALES
DE METAL CORRUGADO
A SECCION PLENA
 n=0,0327 a n=0,0306



SECCIONES CIRCULARES



SECCIONES ABOVEDADAS DE METAL CORRUGADO



SECCIONES ABOVEDADAS DE LAMINAS ESTRUCTURALES DE METAL CORRUGADO

Q_p = Gasto a sección plena.
 V_p = Velocidad a sección plena.

GRAFICO IV - 10
 ELEMENTOS HIDRAULICOS
 (n = constante)

CAPITULO V

DRENAJE SUPERFICIAL

V.1 CONCEPTOS BASICOS

Las aguas pluviales excesivamente extendidas sobre el pavimento entorpecen el tránsito y son causa de accidentes. Además, una severa y prolongada exposición a la acción de las aguas debilita la base y la sub-base causando el deterioro del pavimento. En general, el diseño del drenaje superficial debe tratar de evitar situaciones como las mencionadas anteriormente.

El drenaje superficial difiere notablemente si las vías son urbanas o rurales. Por una parte, casi siempre las vías urbanas tienen pendientes más suaves que las rurales, los brocales y aceras forman una sección hidráulica menos eficiente que la de las cunetas que bordean las vías rurales y las calzadas en las calles y avenidas sirven muchas veces parcial o totalmente, como canales para conducir las aguas pluviales. Por otra parte, los posibles daños por inundaciones de aguas provenientes de las calzadas son de mayor consideración en las zonas urbanas y por lo tanto las frecuencias de las lluvias de diseño que determinan el riesgo y el costo de los daños, deben ser establecidas con criterios diferentes.

V.2 RECOMENDACIONES GENERALES

V.2.1 Frecuencia de diseño

La frecuencia de la lluvia de diseño y el límite de la zona inundable de la calzada, aparecen en las Tablas V-1a y V-1b.

V.2.2 Tiempo mínimo de concentración

Se considerará como tiempo de concentración el requerido para que el agua llegue desde el punto más distante del área drenada hasta el punto en consideración.

Se recomienda usar los tiempos mínimos de concentración siguientes:

Brocales, cunetas y sumideros que drenan áreas pavimentadas, menores de 2 Has.	5 minutos
Brocales, cunetas y sumideros que drenan áreas pavimentadas mayores de 2 Has. y áreas mixtas (pavimentadas y con vegetación)	10 minutos

V.2.3 Pendientes transversales

La pendiente transversal deberá ser 2 %.

V.2.4 Dimensiones y pendientes mínimas en cunetas

Por razones de mantenimiento se recomienda como cuneta mínima un canal triangular, isósceles, de 0.60 m. de ancho y de 0.20 m. de profundidad (ver canal tipo D, gráfico V-6).

Pendiente mínima: en cunetas no revestidas	0.3 %
en cunetas revestidas	0.2 %

V.2.5 Diámetros mínimos

Tuberías principales o tuberías laterales de más de 100 m. de longitud ..	18" (0.46 m.)
Tuberías laterales	15" (0.38 m.)

V.2.6 Velocidades mínimas y máximas

V.2.6.1 La velocidad mínima recomendable en drenes es de 0.90 m./s. cuando funcionan a sección plena.

V.2.6.2 Velocidades máximas:

V.2.6.2.1 Cunetas no revestidas. (Ver Tabla V-2.)

V.2.6.2.2 Canales pavimentados. (Ver Tabla V-3.)

V.2.6.2.3 Cunetas revestidas con cobertura vegetal: 1.5 m./s.

V.2.6.2.4 En tubos recolectores: 5 m./s. (máxima recomendable).

V.2.7 Aguas sobre la calzada

Salvo casos especiales, el agua al atravesar la calzada no deberá correr sobre más de cuatro canales de tránsito.

V.2.8 Proyectos por etapas

En proyectos por etapas, las instalaciones permanentes de drenaje deberán ser proyectadas de acuerdo con el proyecto final, y se deben incluir posibilidades para mejoras futuras.

V.2.9 Longitud de sumideros

La longitud mínima de la ventana de los sumideros será $L: 1.50$ m. (Ver la Figura V-1.)

V.2.10 Depresión en sumideros

La depresión mínima en sumideros será: $a = 0.025$ m. (Ver Figura V-1.)

V.2.11 Vías con Isla Central

En las vías que tengan una isla central elevada la cual intercepta el flujo de las aguas en las zonas peraltadas, debe evitarse, especialmente en terraplenes, colocar sumideros que sean drenados por tubos recolectores, pues cualquier asentamiento que se produzca puede dañar la tubería. En consecuencia, la calzada deberá ser drenada a través de ventanas colocadas en la isla central, en forma continua, con el fin de evitar que las aguas se concentren causando molestias al tránsito.

V.2.12 Valores recomendados del Coeficiente de Rugosidad "n" de la Fórmula de Manning.

V.2.12.1 Tubos de concreto

15" a 30" $n = 0.013$.

36" a 48" $n = 0.012$.

54" y más $n = 0.011$.

V.2.12.3 Tubos de metal corrugado

$n = 0.024$.

V.2.12.3 En cunetas revestidas, según la profundidad

$n = 0.016$ hasta 0.30 mts. de profundidad máxima.

V.2.13 Subdrenajes

El sistema de drenaje superficial de la calzada deberá estar complementado por un sistema de subdrenajes, a fin de brindar al pavimento la protección necesaria.

V.3 GASTOS DE DISEÑO

Los gastos de diseño para las obra de drenaje superficial de la calzada, se obtendrán siguiendo el "Método Racional":

$$Q = C \times i \times A$$

Q en litros/seg.
i en l./s./Ha.
A en Has.

El coeficiente de escorrentía "C" a utilizarse, deberá ser un valor ponderado, resultante de tomar en cuenta tanto el área de las zonas pavimentadas como el área de las no pavimentadas, agrupadas estas últimas según características similares de cobertura vegetal, pendiente del terreno y tipos de suelos. El valor del coeficiente "C" deberá ser establecido de acuerdo a los valores de la Tabla III-3, complementados con los siguientes:

Tejados y azoteas	0.85 a 0.95
Patios	0.85
Pavimentos	0.95
Caminos de grava	0.30
Jardines y zonas verdes	0.30
Praderas	0.20

El valor de la intensidad "i" se obtendrá utilizando las curvas de intensidad-frecuencia-duración (Figs. III-1 a III-8), de acuerdo a la zona del país en consideración la frecuencia se escogerá de acuerdo a lo indicado en las Recomendaciones Generales y la duración será igual al tiempo de concentración.

El tiempo de concentración mínimo se tomará de acuerdo a lo indicado en las Recomendaciones Generales y será el resultante de calcular el tiempo de "entrada" del agua hasta el dren, más el tiempo de "viaje" por el dren hasta el punto en consideración.

El valor de "A" será igual al área de la hoya en consideración, en hectáreas (Has.).

V.4 DISEÑO DE SUMIDEROS

V.4.1 Tipos de sumideros

Básicamente se pueden considerar tres tipos de sumideros:

V.4.1.1 Sumideros de ventana.

V.4.1.2 Sumideros de rejilla.

V.4.1.3 Sumideros mixtos.

La selección del tipo a utilizar depende, en general, de las condiciones del sitio donde se van a ubicar, de su eficiencia hidráulica y del costo.

Generalmente para vías con pendientes pequeñas (hasta 3 %) resultan más económicos y eficientes los sumideros de ventanas.

Las características, ventajas y desventajas de cada cual, se resumen a continuación:

V.4.2 Sumideros de ventana

V.4.2.1 Presentan las siguientes ventajas:

V.4.2.1.1 Sus características y funcionamiento evitan el depósito de arrastres y de sedimentos, lo cual mejora su operación y mantenimiento.

V.4.2.1.2 Se adapta a los brocales, aceras e islas centrales, no afectando apreciablemente la calzada o el hombrillo; por lo tanto no interfieren directamente con el paso de vehículos y personas.

V.4.2.2 Desventajas:

V.4.2.2.1 La eficiencia baja considerablemente si no existen las depresiones, las cuales tienden a interferir indirectamente el tránsito, en vías rápidas.

V.4.2.2.2 En pendientes pronunciadas se producen velocidades considerables en cunetas y brocales, requiriéndose sumideros de ventana cuyas longitudes pueden resultar imposibles de construir o excesivamente costosas.

V.4.3 Sumideros de rejillas

V.4.3.1 Ventajas:

V.4.3.1.1 Para velocidades pronunciadas en cunetas con o sin brocales, pueden captar el agua en distancias menores que las correspondientes a los sumideros de ventana.

V.4.3.1.2 Pueden utilizarse en lugares donde no es recomendable la existencia de depresiones en cunetas o brocales.

V.4.3.2 Desventajas:

V.4.3.2.1 Se obstruyen con relativa facilidad a causa de arrastres o basuras.

V.4.3.2.2 Dificultan el tránsito de vehículos automotores.

V.4.3.2.3 Dificultan el paso de peatones y de ciclistas.

V.4.4 Sumideros mixtos

Están constituidos por sumideros de ventana y sumideros de rejilla, colocados apropiadamente, lo cual debería permitir aprovechar las ventajas de ambos sistemas y aumentar su eficiencia.

Sin embargo, algunas investigaciones realizadas no han revelado ventajas apreciables y los datos existentes sobre las capacidades y comportamiento de los sumideros mixtos no son suficientes para establecer criterios de diseño al respecto. En virtud de lo expuesto, su uso sólo se recomienda para aquellos casos especiales que así lo ameriten.

V.4.5 Condiciones de diseño

V.4.5.1 Condiciones generales

V.4.5.1.1 En los sumideros, el tope del tubo de salida debe ser colocado al menos 0.25 metros por debajo del nivel inferior de la ventana. Este borde libre de 0.25 metros toma en consideración la compensación de las pérdidas causadas por turbulencia y la basura flotante. Cuando el tubo de salida funcione lleno o casi lleno se deberá añadir al mínimo de 0.25 m. la pérdida por entrada en el tubo de salida.

V.4.5.1.2 El fondo del sumidero deberá tener una pendiente no menor de 2 %, hacia la salida. Cuando una tubería continúa a través del sumidero, el fondo del mismo deberá ser un canal semicircular.

V.4.5.2 Sumideros de ventana

V.4.5.2.1 En pendientes:

V.4.5.2.1.1 Los sumideros funcionarán como vertederos laterales con carga variable.

V.4.5.2.1.2 La capacidad de los sumideros depende de:

V.4.5.2.1.2.1 Las dimensiones de la ventana.

V.4.5.2.1.2.2 La sección de la cuneta o brocal y la profundidad de la corriente, justamente aguas arriba de la ventana, y

V.4.5.2.1.2.3 La depresión del sumidero.

V.4.5.2.1.3 Estas variables actúan de la siguiente manera:

La capacidad del sumidero aumenta con su longitud y la depresión de la ventana, con la profundidad de la lámina de agua en el brocal o cuneta y con la pendiente transversal de la calzada.

La capacidad del sumidero disminuye notablemente con el aumento de la pendiente longitudinal de la vía.

V.4.5.2.1.4 En virtud a lo expuesto, es conveniente adoptar las siguientes medidas:

La pendiente transversal en los brocales-cunetas deberá ser la mayor posible (hasta 8 %), pues de esta forma se concentrará el flujo contra el brocal aumentando la capacidad del sumidero. La franja de mayor pendiente no debe tener más de 0.60 m. de ancho.

De acuerdo con las condiciones existentes se tratará de utilizar las ventajas que presenta la depresión en la ventana del sumidero, pero el ancho de la misma debe limitarse de forma que no dificulte el tránsito de vehículos y peatones.

Una depresión con un ancho mayor de 0.60 m., tiende a ser evitada por los conductores, lo cual ocasiona perjuicios al buen funcionamiento de la vía. Por las mismas razones expuestas, las depresiones de las ventanas de los sumideros en las islas centrales no deben tener más de 0.30 m. de ancho.

V.4.5.2.2 En puntos bajos

V.4.5.2.2.1 Los sumideros en puntos bajos funcionarán como vertederos siempre y cuando la profundidad del agua sea tal que no sumerja la ventana, en cuyo caso ésta funcionaría como orificio. El diseño debe ser realizado para que la ventana no opere sumergida.

V.4.5.2.2.2 Las dimensiones de la ventana y de la depresión de los sumideros deberán determinarse a partir de los gastos estimados, y de acuerdo con el límite per-

misible de inundación (ver V.2.1 y V.3).

V.4.5.2.2.3 Considerando los efectos negativos de la inundación en un punto bajo, la cual puede ser ocasionada por la tendencia a la sedimentación en estos puntos y subsecuente obstrucción del sumidero, es conveniente proyectar sumideros adicionales aguas arriba del punto bajo, a una elevación tal que la inundación se limite a la zona indicada en las Tablas V-1a y V-1b.

V.4.5.2.3 Capacidad de sumideros de ventana

La capacidad de los sumideros de ventana se determinará utilizando los gráficos V-1, V-2 y V-3, cuando los sumideros se hallan en pendientes y el gráfico V-4, cuando son sumideros ubicados en puntos bajos y en depresiones:

V.4.5.3 Sumideros de rejilla

V.4.5.3.1 El movimiento del agua a través de las rejillas se puede suponer como el paso a través de un orificio rectangular, considerando el área neta de la abertura.

Debido al peligro de obstrucción, se recomienda que el área neta de las rejillas sea igual al doble del área resultante de considerarlas como orificios rectangulares.

V.4.5.3.2 Siempre que sea posible, los barrotes deben ser colocados paralelos a la dirección del flujo con el fin de disminuir la posibilidad de obstrucción y aumentar la capacidad del sumidero.

V.4.5.3.3 Capacidad de sumideros de rejilla: La capacidad de los sumideros de rejilla se determinará utilizando el Gráfico V-5.

V.4.5.4 Sumideros mixtos

Para el diseño de los sumideros mixtos se considerará solamente la capacidad de las rejillas, pues las ventanas servirán como alivio en los casos de obstrucción de las rejillas.

V.4.5.5 Tuberías de drenaje

La cantidad de agua que se le asigne a cualquier sector de una tubería de cierta longitud, no es necesariamente la suma de los gastos de diseño de los sumideros que ella recoja, sino que en general es una cantidad menor, a causa de que aumenta el tiempo de concentración y por lo tanto disminuye la intensidad de la lluvia de diseño.

V.4.5.1.1 En condiciones normales, las tuberías deberían proyectarse para régimen uniforme, utilizando la Fórmula de Manning suponiendo que funcionen llenas para el gasto de diseño y con el gradiente hidráulico igual a la pendiente del tubo, pero sin trabajar a presión. Habrá pequeñas pérdidas de carga en sumideros, bocas de visita, etc., las cuales pueden ser despreciadas para velocidades menores de 2 m./seg.

V.4.5.5.2 Si estas condiciones no existen y en especial cuando en los cambios de diámetro de la tubería se obliga a los tubos pequeños a descargar contra carga, será necesario calcular la línea de carga total. Si el nivel de la línea de carga total no está por encima del borde superior de la tubería de salida en los sumideros, el sistema es adecuado y no existe la posibilidad de que el agua emerja violentamente por las aperturas del sistema.

V.4.5.5.3 Cuando las pendientes son bajas es conveniente que el diseño permita que las velocidades en las tuberías aumenten progresivamente o que al menos no disminuyan, con el fin de evitar sedimentación.

V.4.5.5.4 Se debe proyectar utilizando los diámetros comerciales y de tal manera que un diámetro determinado descargue en otro de igual o mayor diámetro. No se debe descargar en diámetros menores.

V.4.5.5.5 En general, en los cambios de diámetro de las tuberías se debe colocar al mismo nivel la parte superior de los tubos y no las líneas medias o líneas de flujo, con el fin de que los tubos no trabajen bajo carga.

V.4.6 Ubicación de los sumideros

En lo posible se debe evitar el fijar distancias arbitrarias entre sumideros. La ubicación de los sumideros debe ser determinada mediante un análisis racional de los factores que se mencionan a continuación:

V.4.6.1 Gasto de diseño (ver V.3).

V.4.6.2 Pendiénte longitudinal y transversal, del brocal o cuneta.

V.4.6.3 Ubicación y características geométricas de los distribuidores de tránsito, e intersecciones de rasante y pendientes transversales.

V.4.6.4 Limitación de las zonas inundadas (ver V.2.1).

V.4.6.5 Capacidad de los sumideros a ser utilizados (ver V.4.5.2.3 y V.4.5.3.3).

V.4.6.6 Ubicación de las intersecciones de las rasantes y de las pendientes transversales.

V.4.6.7 En general, habrá que colocar sumideros en los sitios siguientes:

V.4.6.7.1 Puntos bajos y depresiones de la calzada.

V.4.6.7.2 Aguas arriba de las intersecciones, especialmente de los cruces de peatones en avenidas y calles.

V.4.6.7.3 En los cambios de pendiente longitudinal y transversal (peralte) de la calzada, que así lo ameriten. Especialmente donde comienza o termina el peralte si existe el peligro de derrame sobre la calzada.

V.4.6.7.4 Siempre que se calcule que el agua sobrepasará el límite previsto para la zona inundable (ver V.2.1).

V.5 UBICACION DE LAS BOCAS DE VISITA

Se requiere colocar bocas de visita para las tuberías en los puntos siguientes:

V.5.1 En la unión de uno o más drenes. (Los empotramientos cortos pueden entrar directamente.)

V.5.2 En los cambios de diámetro de la tubería.

V.5.3 En los puntos donde la pendiente disminuye abruptamente.

V.5.4 En las curvas agudas, o entre curvas continuas.

V.5.5 En alineamientos rectos, la distancia máxima entre bocas de visita deberá ser:

Tubería de 18"	100 m.
Tubería de 24" a 36"	120 m.
Tubería de 42" a 48"	220 m.
Tuberías mayores de 48"	350 m.

V.6 UBICACION DE LAS TUBERIAS

En general, los drenes deben estar fuera de la calzada con el fin de facilitar el mantenimiento. Por lo tanto, siguiéndo un orden de prioridad deberían considerarse las ubicaciones siguientes:

- V.6.1 Aceras.
- V.6.2 Hombrillos.
- V.6.3 Islas centrales.
- V.6.4 La mitad de un canal de tránsito.

V.7 DISEÑO DE CANALES

V.7.1 Generalidades

Dentro del derecho de vía de la carretera casi siempre se requieren canales laterales de drenaje además de las cunetas.

El diseño de estos canales consiste en determinar secciones adecuadas que no presenten problemas de construcción o de mantenimiento, con alineamientos que no causen el derrame de agua y posibles problemas legales y también en especificar el tipo de recubrimiento necesario para proteger los canales de la erosión. (En este sentido pueden consultarse las Tablas V.2 y V.3 y el aparte V.2.6.2 de las Recomendaciones Generales.)

Las zanjas laterales de drenaje requieren especial cuidado cuando desaguan aguas arriba de un puente, porque en los desbordes del río pueden contribuir a dar aumento considerable de la socavación en el estribo y en las pilas próximas a la zona de confluencia.

En este sentido es necesario construir espigones normales al eje de la carretera, o conservar la vegetación existente y reponer la removida al pie del terraplén y en las zonas adyacentes, con el fin de disminuir la velocidad de retorno de las aguas desbordadas.

V.7.2 Procedimiento para el diseño

V.7.2.1 Planos

Todos los canales de drenaje deberán indicarse en planos topográficos que incluyan la ubicación de la calzada y la situación de los cortes y rellenos; además deberán indicar el derecho de vía y las áreas contribuyentes a los canales, indicando los puntos donde se supone que se concentrarán los gastos.

V.7.2.2 Pendiente

La pendiente aproximada del canal puede obtenerse de los planos topográficos y generalmente vendrá dada por la pendiente de la carretera.

Es importante evitar la sedimentación en los canales, para lo cual se recomienda utilizar pendientes mayores de 0.002 y velocidades mayores de 0.90 m./seg. Por la misma razón, las velocidades deberán aumentar en dirección aguas abajo, o al menos, mantenerlas constantes.

Cuando en los canales o cunetas existen cambios de pendiente, es necesario tomar las precauciones del caso, especialmente para régimen supercrítico o de velocidades altas. En estos casos siempre es conveniente consultar la opinión de expertos en la materia.

V.7.2.3 Alineamientos

Los cambios de alineamiento en los canales deben ser tan suaves como lo permitan la calzada, el derecho de vía y el terreno. No es prudente hacer cambios de alineamientos en canales y cunetas cuando existe régimen supercrítico. En los casos donde sea necesario, debe aumentarse prudentemente el borde libre.

V.7.2.4 Gasto de proyecto

Para estimar el gasto de proyecto puede utilizarse la Fórmula Racional y seguir el procedimiento recomendado en el Capítulo III de este Manual. Las lluvias pueden determinarse según frecuencias de cinco, diez o quince años, de acuerdo con la importancia de la vía, la situación del canal y las facilidades de conservación y mantenimiento.

V.7.2.5 Sección del canal

La sección de los canales de drenajes se establecerá de acuerdo con la ubicación de los mismos respecto a la calzada.

En el caso de canales que estuvieran próximos a la calzada es necesario evitar en lo posible los daños a los vehículos que puedan caer al canal. Por lo tanto, la pendiente del lado próximo a la vía debe ser menor de 4 H: IV para carreteras y de 6 H: IV para autopistas. En los casos en que no sea posible utilizar secciones con estas pendientes, deberán colocarse defensas apropiadas. Para las cunetas se recomiendan las secciones que aparecen en el Gráfico V.6, siendo las secciones Tipo A y Tipo B las convenientes para vías de alta velocidad.

Los canales de drenaje que no presenten peligros para los vehículos pueden tener cualquier sección de acuerdo al gasto y a la pendiente de diseño; sin embargo, los canales anchos y poco profundos son más fáciles de mantener. La pendiente de los taludes será función del material y variará desde el corte vertical para terreno rocoso, hasta 2H: IV para suelos sueltos y arenosos, pasando por pendientes de 1H: 2V en arcillas cohesivas. En la mayoría de los suelos los lados de los canales no deberían tener pendientes mayores de 1H: IV.

V.7.2.6 Capacidad del cauce

En general, la capacidad necesaria se estima para varios tramos, limitados por puntos que bien pueden ser cambios bruscos de la pendiente, o los puntos de entrada del gasto concentrado, tal como sucede en un canal que recibe cunetas y torrenteras.

Una vez terminada la capacidad necesaria para cada tramo, las características de los canales de drenaje de sección trapecial pueden determinarse a partir del Nomograma V.2, o aplicando la Fórmula de Manning. (Para valores de la "n" de Manning ver anexo A). Es importante resaltar que la capacidad de los canales es mayor si se aumenta la pendiente, el ancho del fondo y la profundidad, o si se disminuye la resistencia de las paredes y del fondo haciendo el recubrimiento más liso.

El borde libre en un canal puede variar desde un mínimo de 0.10 m., hasta valores que se determinan considerando la importancia del canal, la posibilidad de sedimentación, la facilidad de conservación y las olas producidas por las perturbaciones si el régimen es supercrítico.

V.7.2.7 Protección del cauce

Si la velocidad media del diseño excede la máxima permitida para el tipo de suelo (ver Tabla V-2), el canal deberá protegerse contra la erosión, recubriéndolo con el material adecuado, de acuerdo a los sistemas de construcción y mantenimiento.

Se pueden utilizar diferentes tipos de recubrimiento, por ejemplo, hierba en pendientes suaves, y concreto para pendientes muy fuertes, recordando que la capacidad y por lo tanto las dimensiones de un canal varían según el recubrimiento. Algunas veces el concreto puede utilizarse para aumentar la velocidad y evitar la sedimentación.

Los canales de concreto que se construyen en pendientes fuertes deben ser anclados mediante dentellones. En suelos saturados los canales con recubrimientos rígidos pueden flotar o romperse cuando están vacíos, a causa de la presión del agua. La fuerza hacia arriba es resistida por el peso del recubrimiento; si éste no es suficiente, se aumenta el espesor si esto es más económico que otras soluciones tales como barbacanas, para régimen subcrítico o subdrenajes para régimen supercrítico.

V.7.2.8 Confluencias

Cuando haya que unir dos o más cauces, deben evitarse las perturbaciones producidas al unirse las corrientes, proyectando las confluencias con el menor ángulo posible. En los casos en que no sea posible hacer la confluencia con ángulos de 20° , la corriente menor debe descargar a un nivel superior al fondo de la corriente mayor.

V.7.2.9 Estructuras de Drenaje colocadas en los canales

Los diferentes tipos de alcantarillas que se colocan en los canales laterales de drenajes con el fin de permitir el paso de vehículos, deben ser diseñados conjuntamente con el canal. En ningún momento estas estructuras deben ocasionar reducción en capacidad o crear problemas adicionales de sedimentación y erosión.



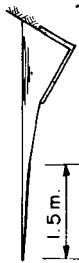

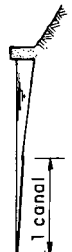

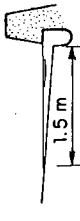
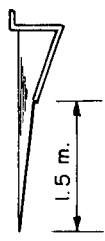
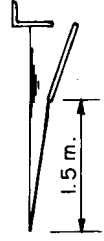
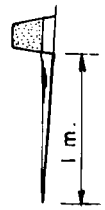
LIMITE DE INUNDACION PERMISIBLE EN VIAS EN ZONAS RURALES			
CARACTERISTICAS DEL DRENAJE	LIMITE DE LA ZONA INUNDABLE	FRECUENCIA DE LA LLUVIA DE DISEÑO (años)	
		AUTOPISTAS	CARRETERAS TIPO A y B TIPO C y D
Drenaje hacia y por las cunetas.	 Borde superior de la cuneta.	10	10 10
	 Borde superior del hombrillo	25	15 -
	 Un metro y medio del ancho de la calzada.	50	25 -
Cunetas para la protección de los terraplenes.	 Borde superior de la cuneta.	50	50 25
Brocales para la protección de los terraplenes.	 Tope del brocal o un canal de tránsito.	50	50 25
Drenajes hacia ventanos en la isla central.	 Un metro del ancho de la calzada.	25	- -
Sumideros ubicados en puntos bajos y depresiones.	 Un metro y medio del ancho de la calzada.	50	25 -

TABLA V - 1a

LIMITE DE INUNDACION PERMISIBLE EN VIAS EN ZONAS URBANAS			
CARACTERISTICAS DEL DRENAJE	LIMITE DE LA ZONA INUNDABLE	FRECUENCIA DE LA LLUVIA DE DISEÑO (años)	
		VIAS EXPRESAS	AVENIDAS CALLES
Brocales, cunetas.	 <p>Un metro y medio del ancho de la calzada.</p>	15	10
Sumideros ubicados en puntos bajos y depresiones.	 <p>Un metro y medio del ancho de la calzada.</p>	50	25
Ventanas en la isla central.	 <p>Un metro del ancho de la calzada.</p>	15	10

NOTA: El drenaje superficial de las vias en zonas urbanas debe ser coordinado con las autoridades competentes de la localidad.

TABLA V- 1b

TABLA V-2	
VELOCIDADES MAXIMAS RECOMENDABLES EN CANALES NO REVESTIDOS	
TIPO DE SUELO	VELOCIDAD EN m/s
Arena fina _ no coloidal	0.7
Greda arenosa _ no coloidal	0.7
Greda limosa _ no coloidal	0.9
Greda firme	1.0
Grava fina	1.2
Arcilla dura _ muy coloidal	1.4
Limos aluvionales _ coloidales	1.4
Limos aluvionales _ no coloidales	0.9
Materiales gradados _ no coloidales :	
Greda a grava	1.4
Limo a grava	1.6
Esquisto arcilloso	1.8
Grava	1.8
Grava gruesa	2.0
Grava a cantos rodados	2.3

TABLA V-3		
RECOMENDACIONES PARA EL RECUBRIMIENTO DE CANALES		
VELOCIDAD MAXIMA	ESPESOR DEL RECUBRIMIENTO	
	LADOS	FONDO
PAVIMENTOS DE CONCRETO ASFALTICO		
2.5 m/s	0.05	0.07
3.0 m/s	0.08	0.10
PAVIMENTOS DE CONCRETO		
3.0 m/s	0.08	0.10
5.0 m/s	0.12	0.15
5.0 m/s	0.15	0.20

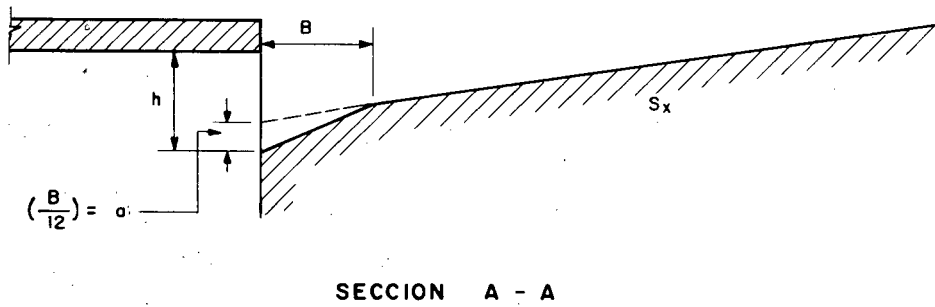
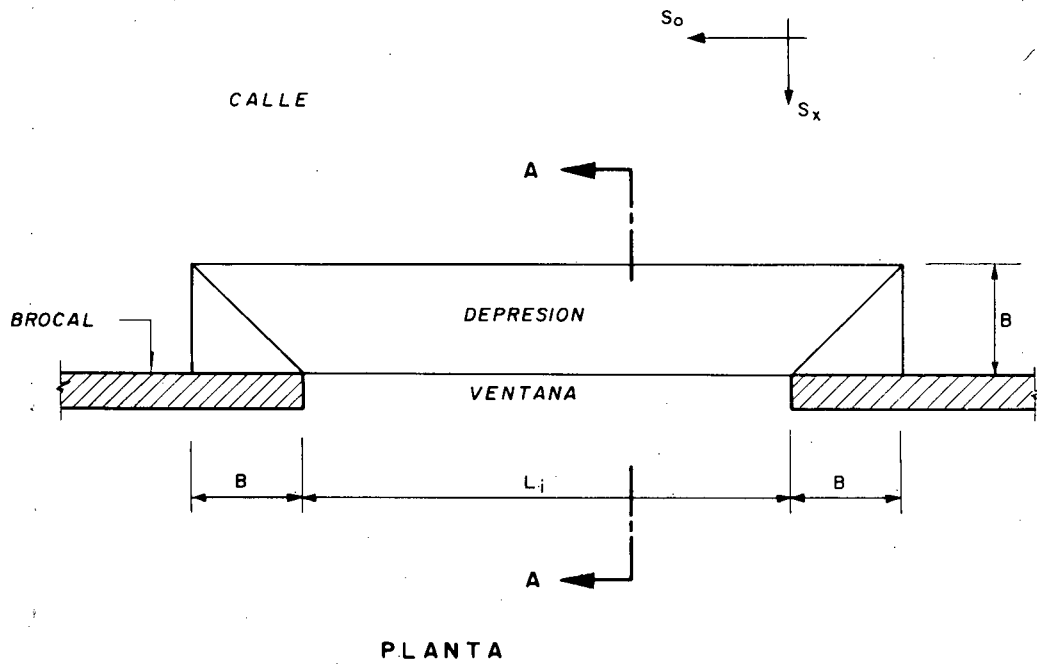
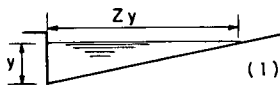
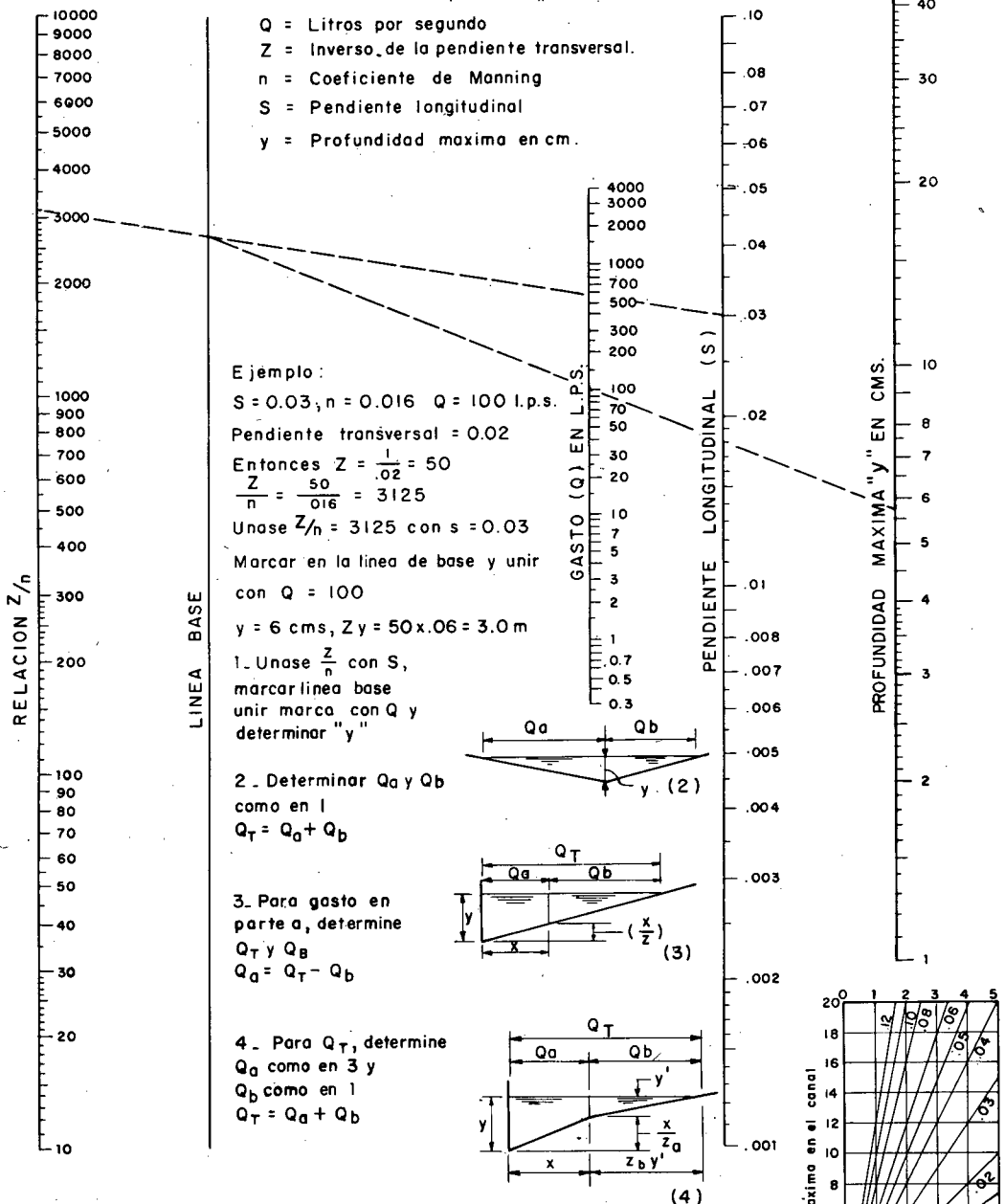


FIGURA V-1
SUMIDERO DE VENTANA TIPICO



ECUACION: $Q = 0,00175 \left(\frac{Z}{n}\right) S^{1/2} y^{8/3}$

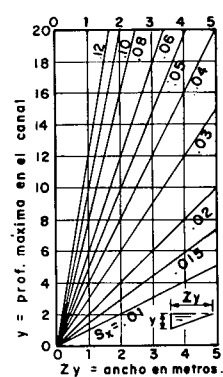
Q = Litros por segundo
 Z = Inverso de la pendiente transversal.
 n = Coeficiente de Manning
 S = Pendiente longitudinal
 y = Profundidad máxima en cm.



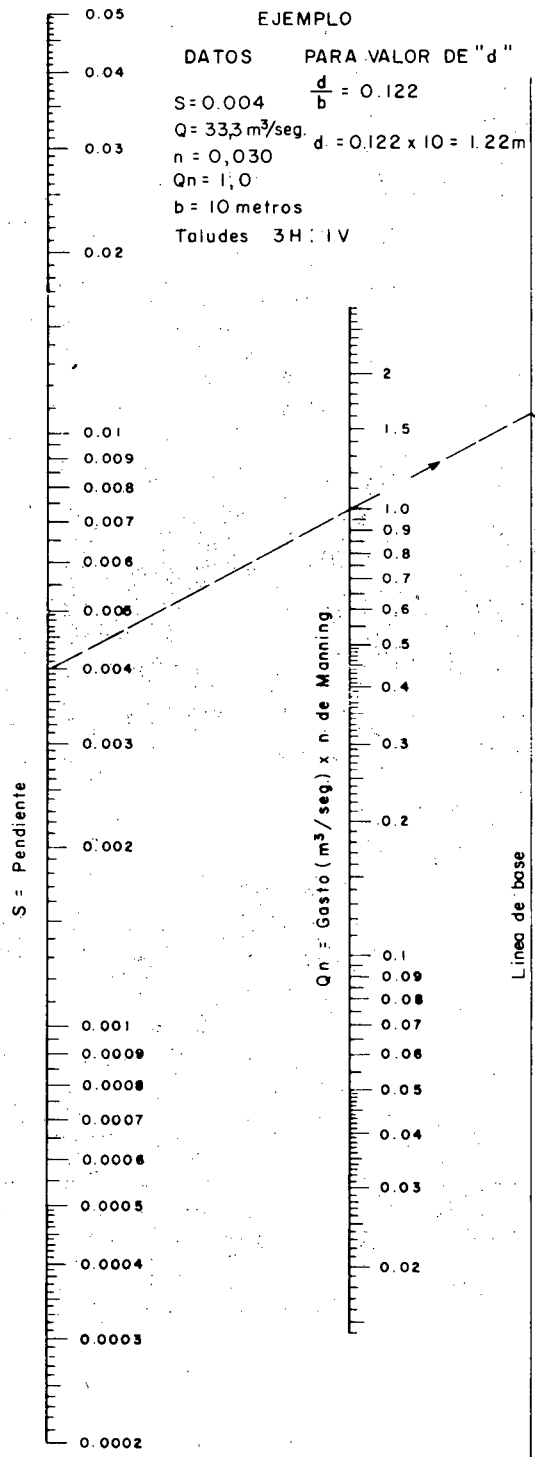
Ejemplo:
 S = 0.03, n = 0.016 Q = 100 l.p.s.
 Pendiente transversal = 0.02
 Entonces $Z = \frac{1}{0.02} = 50$
 $\frac{Z}{n} = \frac{50}{0.016} = 3125$
 Unase $Z/n = 3125$ con $s = 0.03$
 Marcar en la línea de base y unir con Q = 100
 y = 6 cms, Zy = 50 x .06 = 3.0 m

1. Unase $\frac{Z}{n}$ con S, marcar línea base unir marca con Q y determinar "y"
2. Determinar Q_a y Q_b como en 1
 $Q_T = Q_a + Q_b$
3. Para gasto en parte a, determine Q_T y Q_b
 $Q_a = Q_T - Q_b$
4. Para Q_T , determine Q_a como en 3 y Q_b como en 1
 $Q_T = Q_a + Q_b$

NOTA.
 Se recomienda utilizar únicamente para valores de $Z > 8$. Para valores de $Z < 8$ utilizar fórmula de Manning.

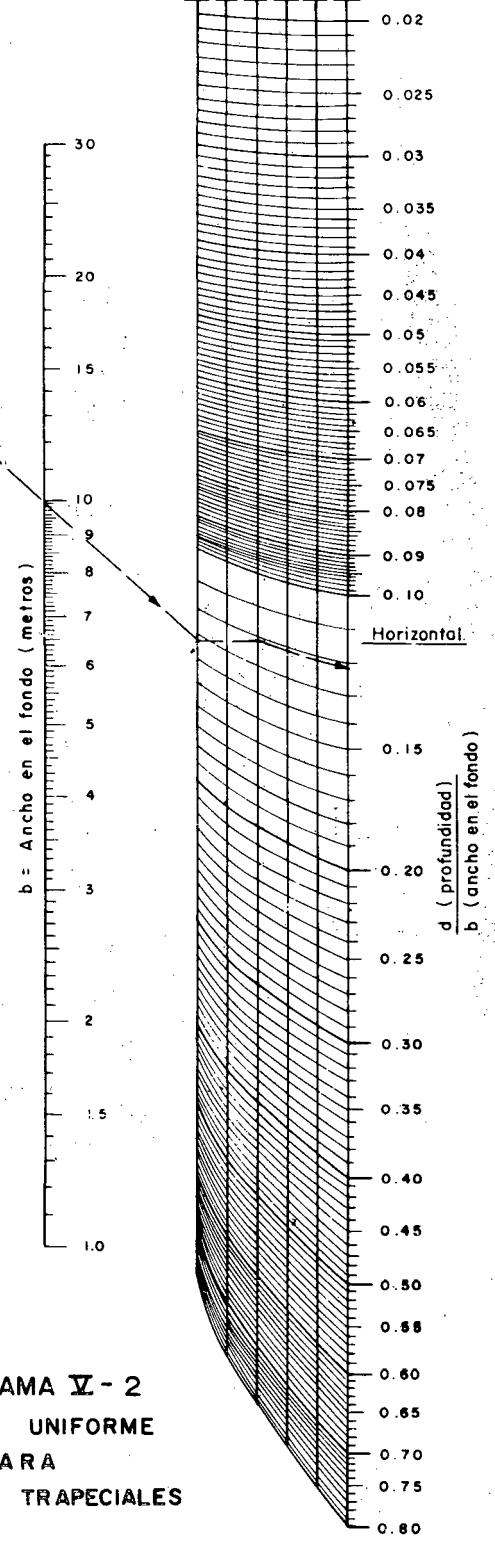


NOMOGRAMA V-1
 FLUJO EN
 CANALES TRIANGULARES



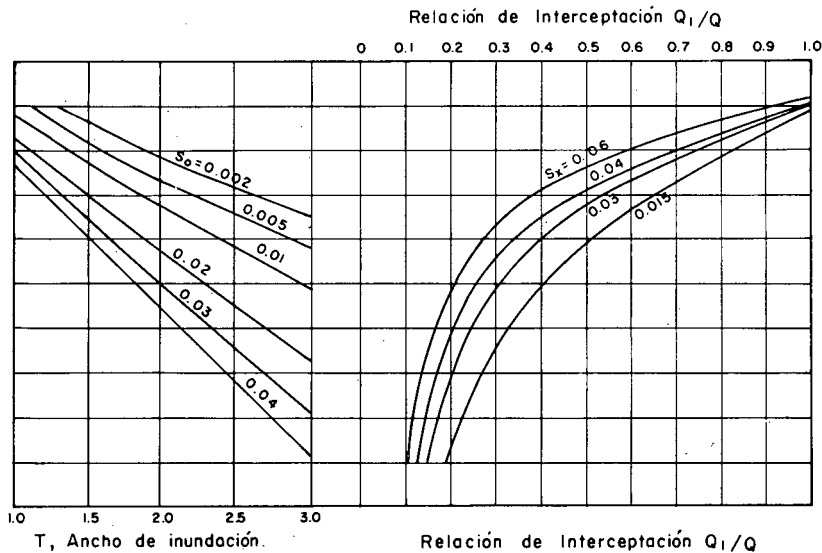
TALUDES
HORIZONTAL A VERTICAL

1:1 2:1 3:1 4:1 5:1 6:1



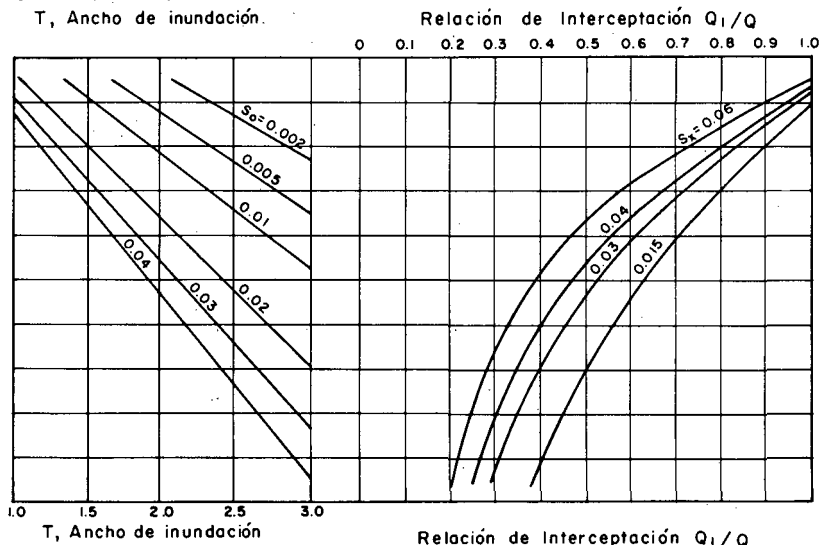
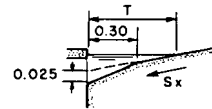
NOMOGRAMA V - 2
REGIMEN UNIFORME
PARA
CANALES TRAPEZIALES

Referencia: Texas Highway Department.



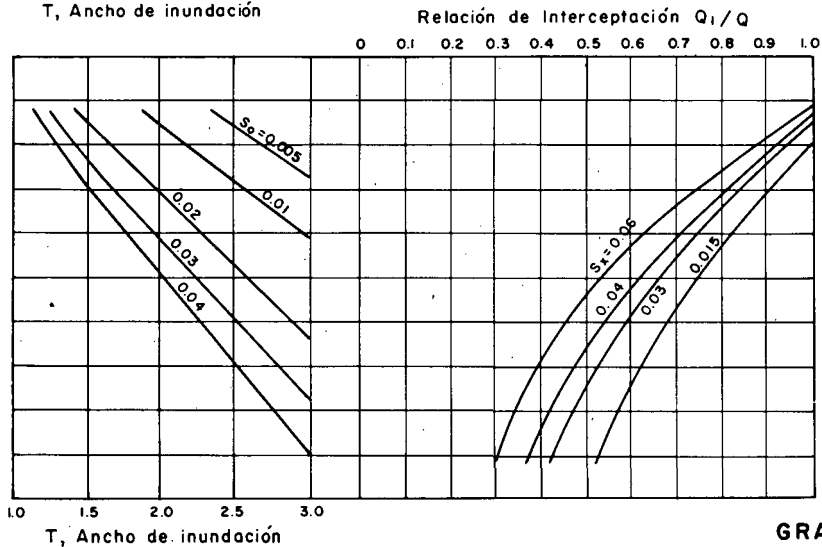
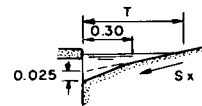
LONGITUD DE LA VENTANA = 1.5 m.

ALTURA MINIMA DE LA VENTANA = TS_x
 $n = 0,016$



LONGITUD DE LA VENTANA = 3.0 m

ALTURA MINIMA DE LA VENTANA = TS_x
 $n = 0,016$



LONGITUD DE LA VENTANA = 4.5 m.

ALTURA MINIMA DE LA VENTANA = TS_x
 $n = 0,016$

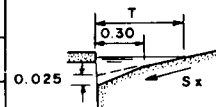
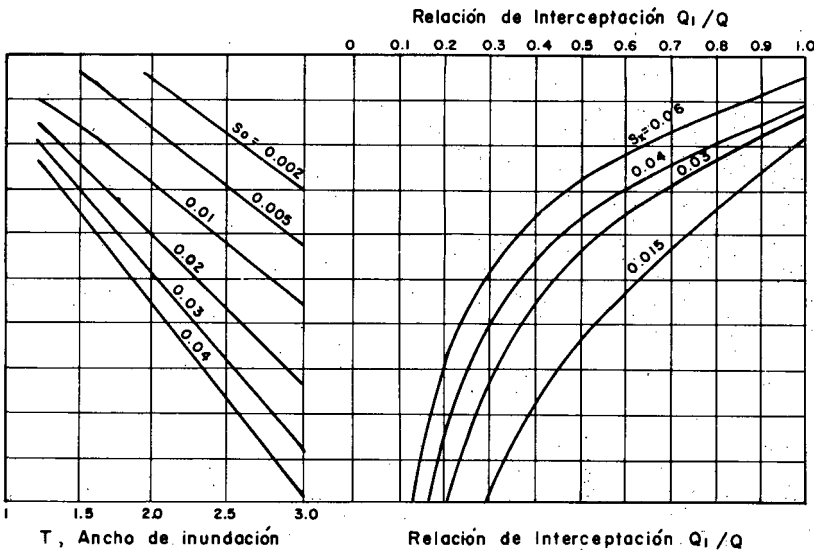
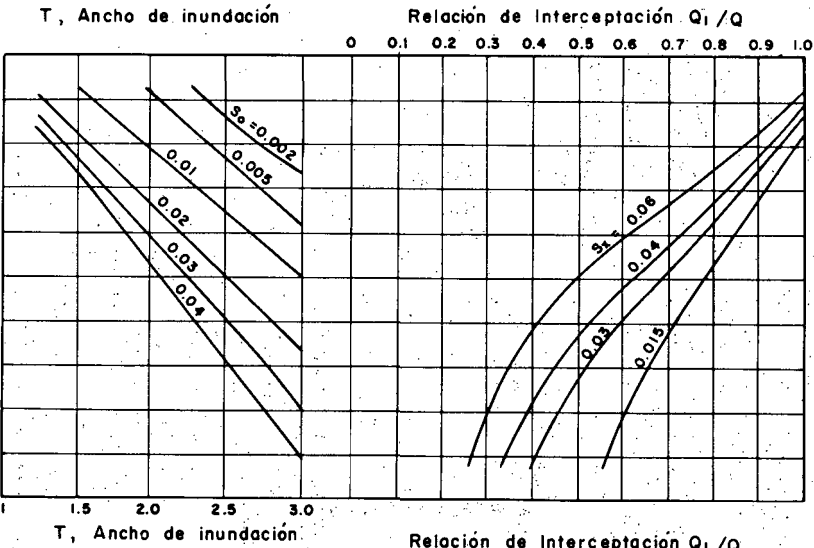
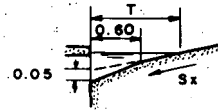


GRAFICO V-1
B = 0,30 m
SUMIDEROS DE VENTANA
RELACION DE INTERCEPTACION



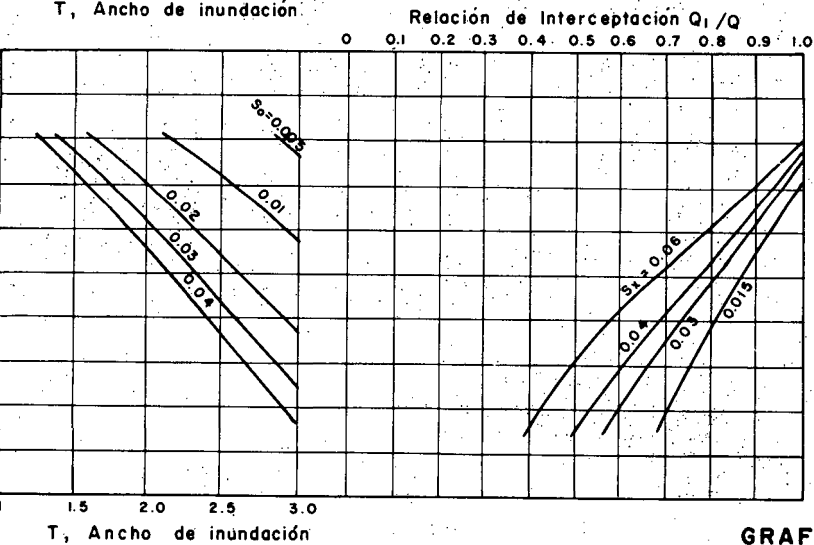
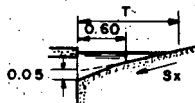
LONITUD DE LA VENTANA = 1.5 m.

ALTURA MINIMA DE LA VENTANA = TS_x
 $n = 0,016$



LONITUD DE LA VENTANA = 3.0 m

ALTURA MINIMA DE LA VENTANA = TS_x
 $n = 0,016$



LONITUD DE LA VENTANA = 4.5 m

ALTURA MINIMA DE LA VENTANA = TS_x
 $n = 0,016$

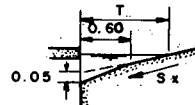


GRAFICO V-2

$B = 0,60$ m

SUMIDEROS DE VENTANA
 RELACION DE INTERCEPTACION

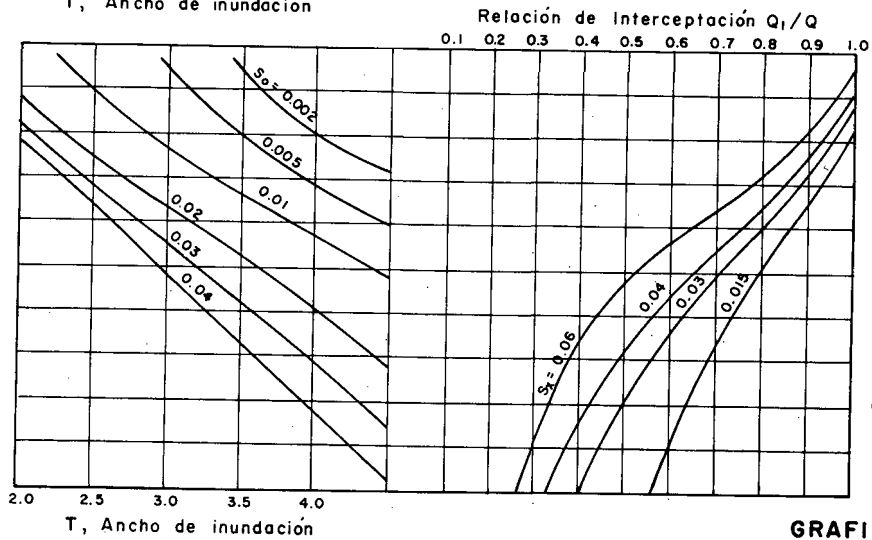
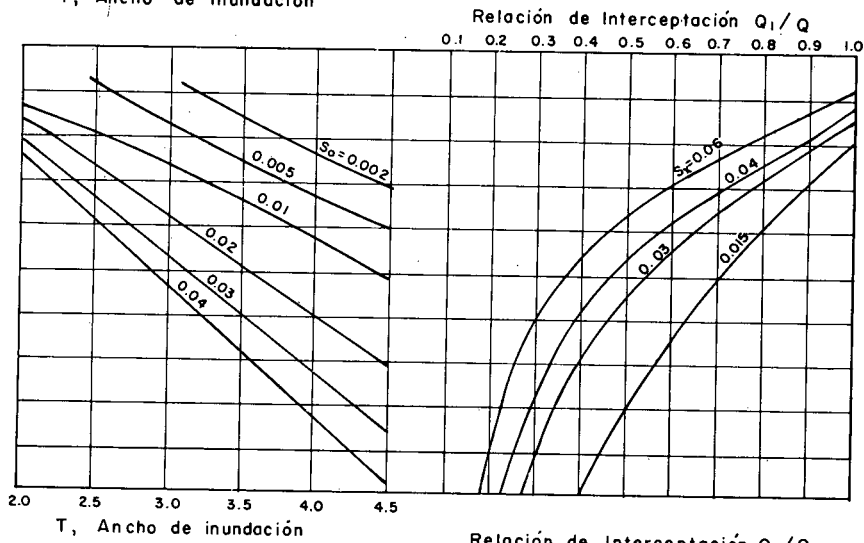
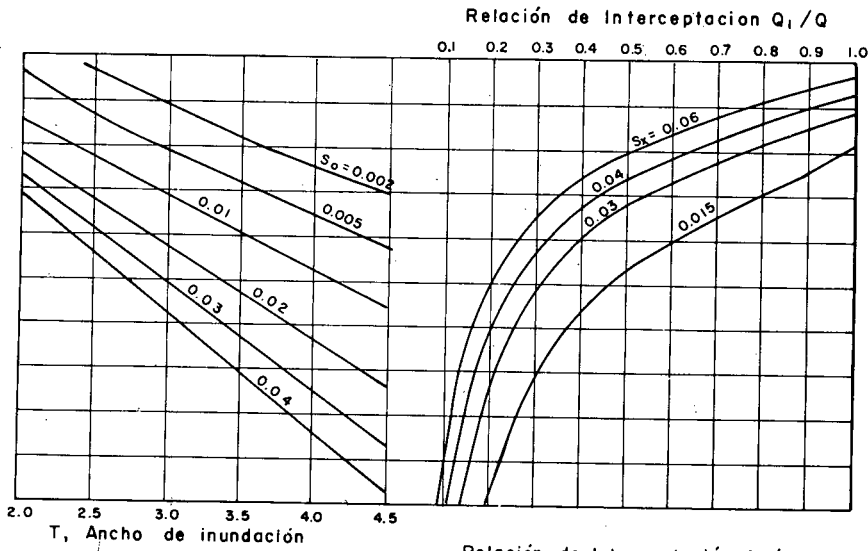
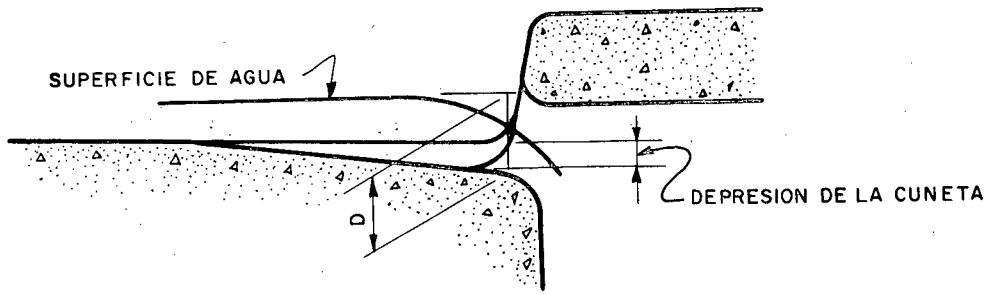


GRAFICO V-3
B = 0,90m
SUMIDEROS DE VENTANA
RELACION DE INTERCEPTACION



SECCION

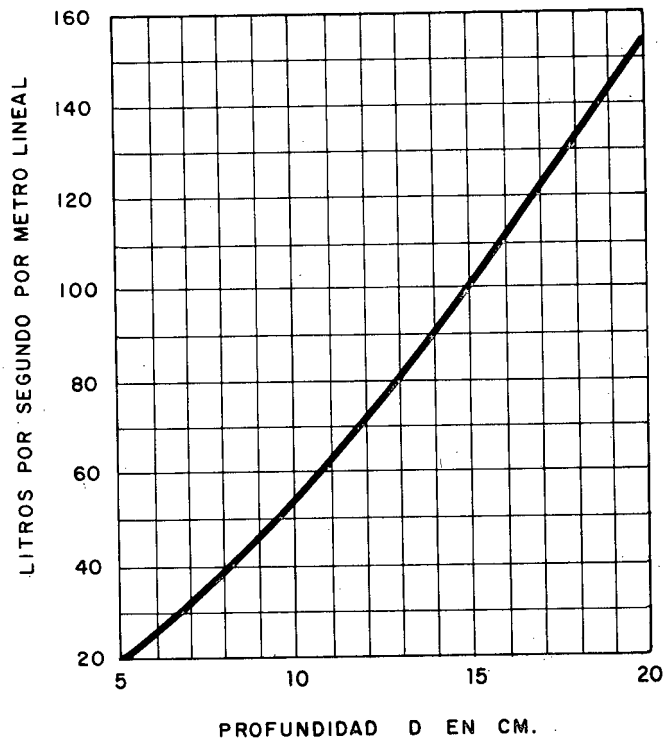
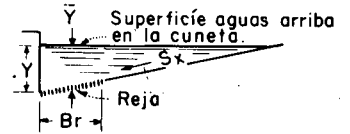
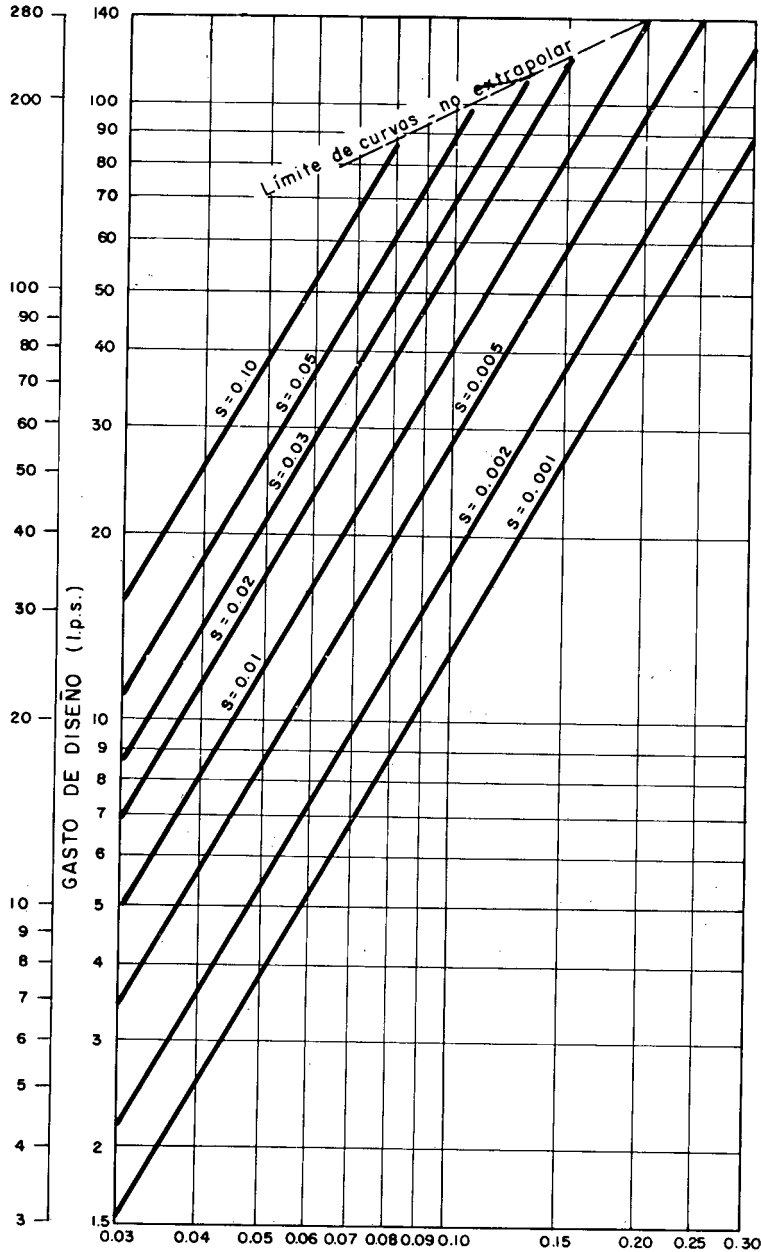


GRAFICO V-4
 CAPACIDAD DE
 SUMIDEROS DE VENTANA
 EN PUNTOS BAJOS

CAPACIDAD EN LITROS POR SEGUNDO CON AGUA Y REJA LIMPIAS



CUNETA TIPO

Reja con largo de 0.90 m y ancho Br de 0.61 m. Separación entre pletinas longitudinales .025, .035 y .05 metros.

NOTA

Para ancho Br de 0.46 se puede multiplicar capacidades por 0.75.

S = Pendiente longitudinal de la calzada (m/m)

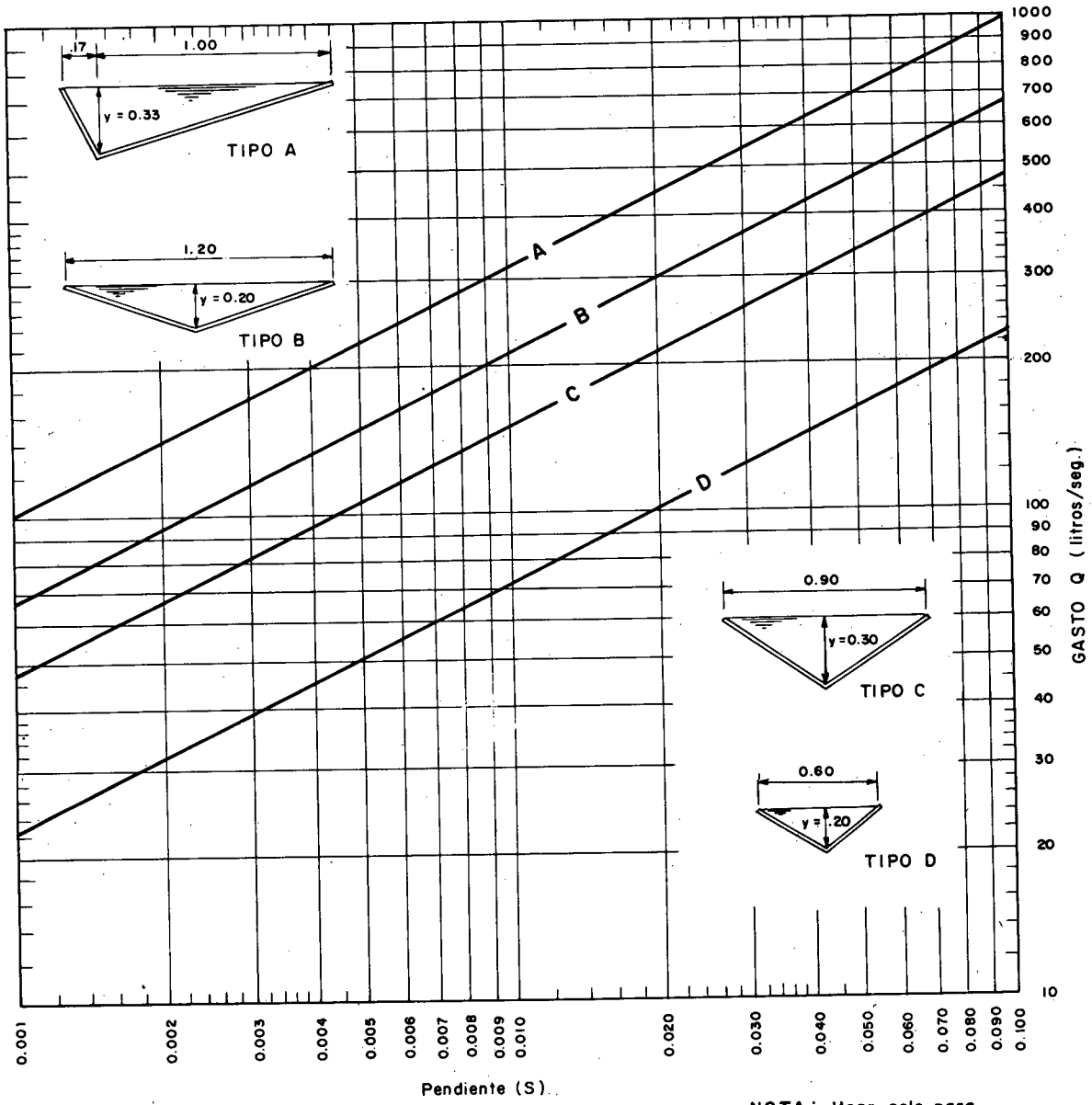
Y = Profundidad máxima en la cuneta (mts.)

\bar{Y} = Profundidad media de la corriente sobre la reja medida aguas arriba antes de comenzar la caída del agua. (mts.)

$$\text{PROFUNDIDAD MEDIA : } \bar{Y} = Y - \frac{Br Sx}{2}$$

Referencia : City of Los Angeles
Office of the City Engineer
Storm Drain Division

**GRAFICO V-5
CAPACIDAD DE REJAS
(INTERCEPTACION COMPLETA)**



NOTA: Usar solo para alineamientos rectos.

TIPO	K
A	0.312
B	0.484
C	0.242
D	0.239

$$Q = K S^{1/2} y^{8/3}$$

Q en l.p.s.
y en cm.

GRAFICO V-6
CANALES TRIANGULARES.
PLENOS
n = 0,016

CAPITULO VI

CONTROL DE EROSION

VI.1 CONCEPTOS BASICOS

En la naturaleza, los suelos están generalmente protegidos por una cierta cobertura vegetal. La cobertura vegetal ideal para evitar la perturbación de los suelos, es la constituida por la combinación de árboles altos de abundante follaje, con arbustos o árboles medianos, y con hierbas o vegetación rastrera; esta cobertura sólo se consigue cuando existe la concurrencia de factores edáficos y climáticos favorables.

Las obras de movimiento de tierra eliminan la cobertura vegetal existente y al dejar expuestos a los suelos a la acción de los elementos y en especial del agua, pueden ocasionar daños tales como derrumbes, inestabilidad de terraplenes y obstrucciones de drenajes, los cuales traen consigo aumento en los costos de mantenimiento (ver fotografías VI-1 y VI-2).

Los recursos técnicos con que se cuenta en la actualidad, permiten brindar una protección inicial e inmediata a los suelos afectados por las obras de movimiento de tierra. Simultáneamente se pueden crear las condiciones vegetativas favorables, para la evolución progresiva de la cobertura hacia una formación vegetal verdaderamente protectora.

Los trabajos de reforestación son primordialmente conservacionistas, pero también deben tomarse en consideración los aspectos paisajistas y recreacionales de la vegetación, a fin de proporcionar a los usuarios de las vías, lugares de solaz y esparcimiento. Por lo tanto, también se deberán sembrar árboles de sombra, florales y frutales en los lugares adecuados para ello.

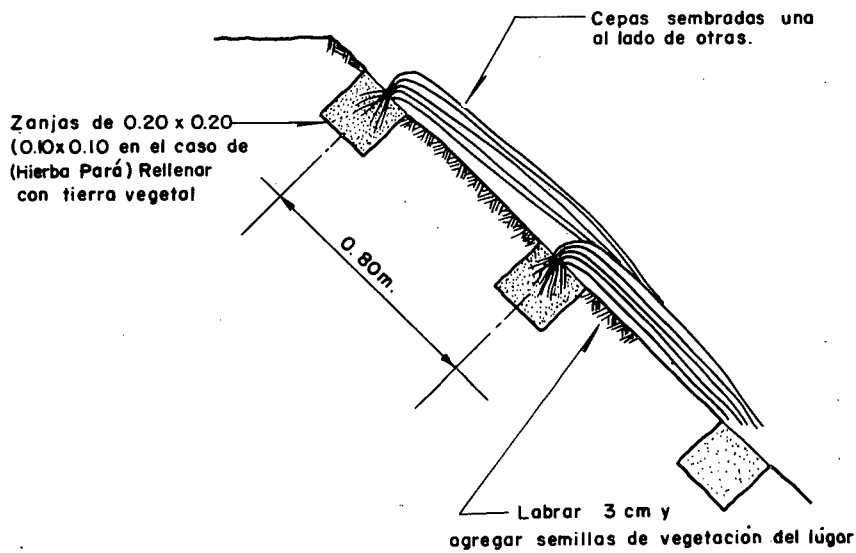
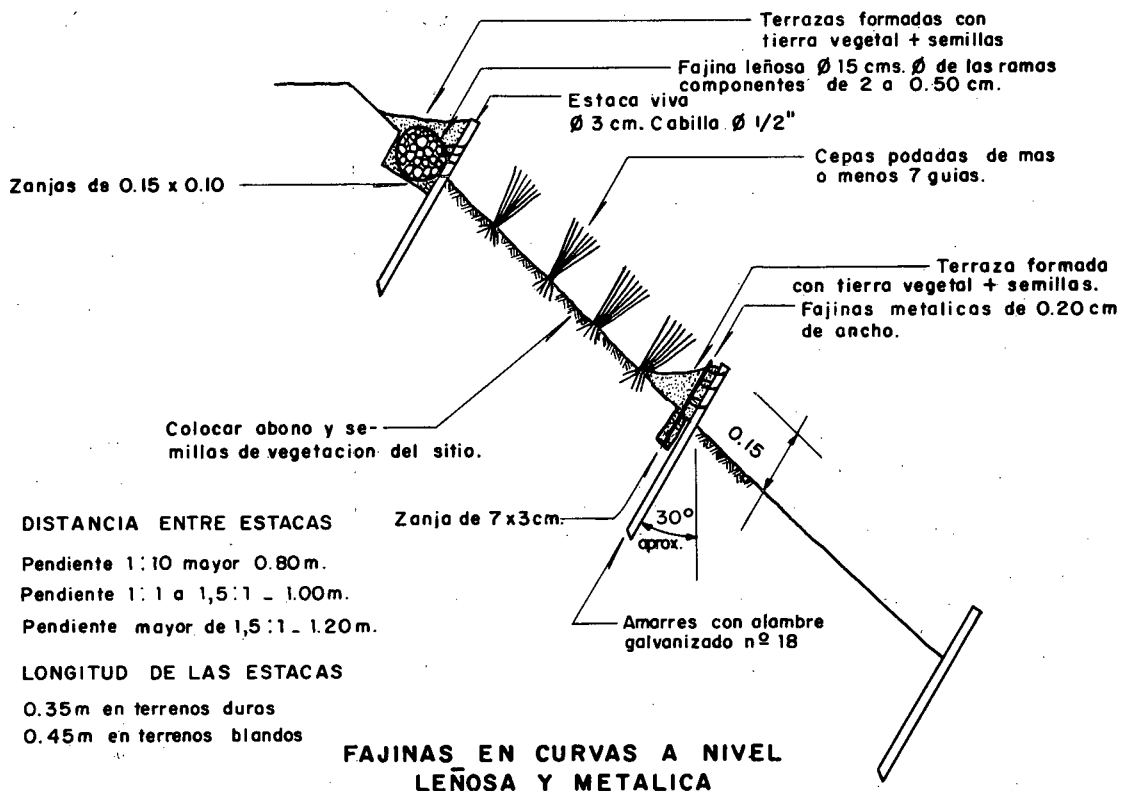
VI.2 SELECCION DEL SISTEMA DE SIEMBRA

La textura y la pendiente de los suelos, son factores decisivos de su comportamiento ante los agentes erosivos. Cuando se quiere dotar a un suelo desnudo de una cobertura vegetal adecuada, se deberán antes que todo seleccionar un sistema adecuado de siembra que contemple los efectos de la textura y de la pendiente de los suelos y permita apelar a medios mecánicos que protejan a los propios suelos y a la vegetación incipiente, cuando sea necesario para permitir que se arraigue y pueda valerse por sí sola.

Los medios mecánicos de protección comúnmente usados son: las fajinas, leñosas o metálicas, las telas o mallas metálicas y las mallas de sisal (ver Lámina VI-1).

Los sistemas más usuales de siembra son:

- a) *Siembra por esteras*: Consiste en la siembra de cepas o estolones en zanjas que siguen las curvas de nivel y luego se cubren con tierra vegetal mezclada con abono inorgánico. El follaje no enterrado, deberá cubrir toda la superficie del suelo, entre zanja y zanja.
- b) *Siembra por cepas*: Consiste en sembrar el tresbolillo el conjunto vegetativo formado por el sistema radicular y sus tallos, ambos podados; para luego aplicarles una capa de tierra vegetal mezclada con abono.
- c) *Siembra por semillas*: Consiste en regar uniformemente la semilla sobre una capa de tierra vegetal. La siembra por semillas requiere la colocación de una capa reguladora de la humedad de la temperatura y de la luz que se ha venido a denominar "mulch".
- d) *Siembra de céspedes*: Puede hacerse por semillas, por cepas o por estolones, según convenga, en una capa de abundante tierra vegetal abonada.



Los suelos según su textura y exclusivamente para los propósitos específicos de este capítulo del Manual de Drenajes, se clasifican en:

- a) *Suelos de textura fina*: Tales como arenas, suelos arenosos limosos, arcillosos y combinaciones de los anteriores.
- b) *Suelos de textura gruesa*: Tales como grava y otros que contengan piedras de diámetro menor de 20 cms.
- c) *Suelos rocosos*: Formados por esquistos meteorizados y rocas muy fragmentadas y meteorizadas.

Por otra parte, y también exclusivamente para los propósitos específicos de este Capítulo del Manual, los suelos se han clasificado según las pendientes en:

- a) Pendientes mayores que 1.5 H: IV (67 %), tales como las de los taludes de corte.
- b) Pendientes iguales o menores que 1.5 H: IV (67 %), tales como las de los terraplenes y zonas de bote.
- c) Pendientes iguales o menores que 10 H: IV (10 %), tales como las de las islas centrales, distribuidores, terraplenes extendidos y sobreanchos.

A continuación se recomiendan diferentes sistemas de siembras en función de la textura y de la pendiente de los suelos.

VI.2.1. Suelos de textura fina

VI.2.1.1 Pendientes mayores que 1.5 H: IV (67 %)

Estos suelos presentan las condiciones más desfavorables y la siembra se hace más difícil a medida que aumenta la pendiente. No deberán usarse fajinas de ningún tipo y se evitarán las siembras por cepas y estolones.

VI.2.1.1.1 Se deberá sembrar por semillas y agregar tierra vegetal y abono. Se deberá proteger con malla de sisal de cuadros menores de 1 cm. de lado.

VI.2.1.1.2 Un sistema que se ha comenzado a emplear recientemente consiste en colocar la semilla mezclada con tierra vegetal y abono, cubriéndolo todo con una capa protectora de emulsión asfáltica.

VI.2.1.2 Pendientes iguales o menores que 1.5 H: IV (67 %)

VI.2.1.2.1 El sistema preferido es el de esteras con agregado de tierra vegetal, abono y semillas de vegetación local arbustiva y arbórea.

VI.2.1.2.2 En los casos en que se desee crear un efecto ornamental conviene sembrar céspedes por estolones o cepas, con agregado de tierra vegetal y abono.

VI.2.1.2.3 Cuando el suelo es muy arenoso, se recomienda utilizar fajinas leñosas y sembrar gramíneas por cepas, agregando semillas de otra vegetación, o sembrar céspedes por estolones o cepas.

VI.2.1.3 Pendientes iguales o menores que 10 H: IV (10 %)

VI.2.1.3.1 En la mayoría de los casos, estos terrenos son destinados para áreas recreacionales u ornamentales y cuando ello ocurre conviene sembrarlos con céspedes por estolones o cepas, combinado con árboles de viveros, frutales, florales y de sombra.

VI.2.1.3.2 Los terrenos que necesitan solamente protección deberán ser tratados con esteras y semillas.

VI.2.2 Suelos de textura gruesa

VI.2.2.1 Pendientes mayores que 1.5 H: IV (67 %) %

VI.2.2.1.1 Se deberá sembrar por cepas o semillas y proteger con fajinados metálicos.

VI.2.2.1.2 Se podrá utilizar también la siembra por semillas y protección con malla de sisal.

VI.2.2.2 Pendientes iguales o menores que 1.5 H: IV (67 %)

VI.2.2.2.1 Se recomienda la siembra de gramíneas por esteras, con agregado de semillas de otra vegetación, tierra vegetal y abono.

VI.2.2.2.2 Cuando se desea crear un efecto ornamental, conviene sembrar céspedes por estolones o pos cepas.

VI.2.2.3 Pendientes iguales o menores que 10 H: IV (10 %)

VI.2.2.3.1 En terrenos aptos para zonas recreacionales, conviene sembrar céspedes por estolones o por cepas.

VI.2.2.3.2 En el caso de terrenos que necesiten protección y no tengan uso definido, conviene tratarlos con esteras.

VI.2.3 Suelos formados por esquistos meteorizados y rocas fragmentadas y meteorizadas

En estos suelos no es recomendable el tratamiento por esteras o con fajinas leñosas.

VI.2.3.1 Pendientes mayores que 1.5 H: IV (67 %)

VI.2.3.1.1 Conviene utilizar enfajinados metálicos y siembra por semillas. La protección se le dará con "mulch" de paja seca.

VI.2.3.2 Pendientes iguales o menores que 1.5 H: IV (67 %)

VI.2.3.1.2 Conviene utilizar enfajinados metálicos y siembra por semillas. La protección se le dará con "mulch" de paja seca.

VI.2.3.3 Pendientes iguales o menores que 10 H: IV (67 %)

VI.2.3.1.3 Se recomienda la siembra por céspedes, por estolones o por cepas, con agregado de tierra vegetal o abono.

VI.3 SELECCION DE ESPECIES

La selección de las especies vegetales adecuadas es una etapa fundamental en la siembra de coberturas, que si bien tienen un objetivo primordialmente conservacionista, también deben contemplar los valores ornamentales y recreacionales. Por estas razones, los cortes y terraplenes de vías que atraviesan zonas urbanas deben ser tratados para que presenten un aspecto agradable. Asimismo, los distribuidores e islas centrales deben tratarse adecuadamente con grama y arbustos florales que formen motivos ornamentales.

Se recomiendan aquellas especies más conocidas, las cuales son adaptables a un amplio rango de climas y pueden obtenerse fácilmente, a un costo razonable.

La selección de las especies vegetales adecuadas debe estar basada en consideraciones climáticas, que favorezcan la adaptación al medio. Para los propósitos de este capítulo se han establecido cuatro grupos en función de la temperatura y de la precipitación media anual; a continuación se describen las características de cada zona y las especies recomendadas.

VI.3.1 Grupo I

VI.3.1.1 Características

Zonas no inundables.

Precipitación media anual mayor de 1.600 mm.

Período lluvioso de 8 a 10 meses de duración.

Humedad en el suelo durante todo el año.

Temperaturas medias entre 20°C y 24°C.

VI.3.1.2 Especies recomendables para diferentes tipos de siembra

VI.3.1.2.1 **Esteras:** Cariaconga (*Paspalum Conjugatum*).

Hierba Pará (*Panicum Purpurascens*).

Paja de gallina (*Sporobolus Indicus*).

VI.3.1.2.2 **Cepas:** Kikuyo (*Penisetum Clandestinum*).

Semillas: Capin Melao (*Melinis Minutiflora*).

Cariaconga (*Paspalum Conjugatum*).

VI.3.1.2.4 **Céspedes:** Grama común (*Paspalum Notatum*).

Kikuyo (*Penisetum Clandestinum*).

VI.3.3 Grupo II

VI.3.3.1 Características

Precipitación media anual entre 800 y 1.600 mm.

Período lluvioso de 6 a 8 meses de duración.

Humedad en el suelo durante 8 ó 9 meses del año.

Temperatura media entre 24°C y 30°C.

VI.3.2.2 Especies recomendables para los diferentes tipos de siembra.

VI.3.2.2.1 **Esteras:** Hierba elefante (*Penisetum Purpureum*).

Gamelote o Guinea (*Panicum Maximun*).

Hierba Pará (*Panicum Purpurascens*).

Yaraguá (*Hyparrhenia Rufa*).

VI.3.2.2.2 **Cepas:** Gamelote o Guinea (*Panicum Maximun*).

Yaraguá (*Hyparrhenia Rufa*).

VI.3.2.2.3 **Semillas:** Gamelote o Guinea (*Panicum Maximun*).

Capin Melao (*Melinis Minutiflora*).

Gramma Bermuda (*Cynodon Dactylon*).

VI.3.2.2.4 **Céspedes:** Gramma Bermuda (*Cynodon Dactylon*).

Gramma San Agustín (*Stenotum prum Secundatum*).

Gramma Común (*Paspalum Notatum*).

VI.3.3 Grupo III

VI.3.3.1 Características

Región de Los Llanos, la cual representa un ecosistema con características muy especiales, donde predominan las gramíneas y está sometida a quemas anuales e inundaciones periódicas frecuentes.

Precipitación media anual, mayor de 1.200 mm.

Período lluvioso, de 5 a 6 meses de duración.

Temperatura media, mayor de 24°C.

VI.3.3.2 Especies recomendables para los diferentes tipos de siembra

VI.3.3.2.1 Esteras: Gamelote o Guinea (*Panicum Maximun*).

Yaraguá (*Hyparrhenia Rufa*).

Rabo de Zorra (*Andropogon SP*).

Lamedora (*Leersia Hexandra*).

Gamelotillo (*Paspalum Plicatulum*).

VI.3.3.2.2 Cepas: Gamelote o Guinea (*Panicum Maximun*).

Rabo de Zorra (*Andropogon SP*).

VI.3.3.2.3 Semillas: Gamelote o Guinea (*Panicum Maximun*).

Yaraguá (*Hyparrhenia Rufa*).

Rabo de Zorra (*Andropogon SP*).

VI.3.3.2.4 Céspedes: Grama Bermuda (*Cynodon Dactylon*).

Grama San Agustín (*Stelotaphrum Secundatum*).

Saladilla (*Sporobulus Virginicus*).

VI.3.4 Grupo IV

VI.3.4.1 Características

En este grupo se incluyen tanto las zonas xerofíticas como los páramos, pues aunque ecológicamente son diferentes, tienen características similares desde el punto de vista de conservación. La vegetación que crece bajo condiciones naturales en ambas zonas, no puede proporcionar por sí sola una cobertura vegetal medianamente aceptable; por lo tanto, hay que recurrir siempre a sistemas mecánicos antierosivos, tales como enfajinados, capas asfálticas, mallas de protección y brocales.

VI.4 NORMAS Y ESPECIFICACIONES PARA TRABAJOS DE REFORESTACION

La División de Estudios y Proyectos de la Dirección de Vialidad ha publicado (1967) normas y especificaciones para los trabajos de reforestación. En ellas se hace especial mención a la preparación de los sitios, al material vegetal, a los cuidados sanitarios, a la tierra vegetal y a los abonos. También allí se establece lo relativo a riego, mantenimiento, mediciones y recepción de los trabajos y se describen y especifican los métodos usuales de siembra. Por lo tanto, complementan la información presentada en este Capítulo.

VI.5 OBRAS DE DRENAJE COMPLEMENTARIAS A LA REFORESTACION

La reforestación protege adecuadamente a los taludes de los cortes y de los terraplenes de los efectos de la lluvia que cae sobre los mismos. Ahora bien, las aguas concentradas son destructoras aún para los taludes reforestados. Por esto se requieren

ciertas obras de drenaje que eviten los daños que pudieran causar las aguas. Estas obras son:

VI.5.1 Cunetas de coronamiento

La finalidad de las cunetas de coronamiento es proteger los taludes de corte contra las aguas que provienen de las zonas más altas.

El análisis de los planos topográficos y las observaciones realizadas durante inspecciones a los sitios, permitirá definir la ubicación de las cunetas de coronamiento de manera que recojan eficazmente las aguas que de otra forma descenderían por el talud de corte; esto sucede siempre y cuando exista un área contribuyente, aguas arriba del talud. Las cunetas de coronamiento también podrán colocarse a diferentes niveles utilizando el espacio que queda en las terrazas intermedias de los taludes y cortes en los casos en que así se requiera. El mantenimiento de las cunetas es parte vital de su funcionamiento, pues tienden a obstruirse frecuentemente con ramas, sedimentos, derrumbes; generalmente las dimensiones de las cunetas deberán determinarse por razones de mantenimiento.

La ubicación de las cunetas implicará el uso de bajantes, donde pueden presentarse velocidades bastante altas que merezcan un estudio hidráulico determinante de las obras complementarias, tales como disipadores de energía y de la protección contra posibles desbordamientos (ver IV.8.2, Obras de Disipación de Energía).

VI.5.2 Brocales en terraplenes

La finalidad de estos brocales será evitar que las aguas que escurren de la calzada dañen los terraplenes, pues permiten conducirlos hasta un sitio de disposición, donde existan las condiciones naturales apropiadas de terreno (ver IV.8, Control de erosión a la salida), o se puedan construir las obras especiales que eviten los problemas de erosión. En general basta con conducir las aguas hasta el terreno no modificado, manteniéndolas alejadas del pie del terraplén y de las propiedades vecinas. En las zonas peraltadas basta con proteger un solo lado de la calzada. Cuando se trata de puntos bajos donde se hace inevitable desaguar sobre el mismo terraplén, se deberán tomar todas las previsiones para conducir las aguas sin desbordarse, utilizando por ejemplo conductos metálicos cerrados que salgan de una tanquilla y sigan sin quiebres la pendiente del talud, hasta llegar al pie, donde deberán completarse con un disipador de energía (ver IV.8.2, Obras de Disipación de Energía). El diámetro de los conductos metálicos podrá determinarse como el de una alcantarilla con control en la entrada (ver IV.7.7, Cálculo Hidráulico de la Alcantarilla). El uso de los denominados "rápidos" o "toboganes" de concreto debe ser estudiado cuidadosamente, a causa de las posibles fracturas producidas por asentamiento de los terraplenes y los desbordes que pueden producirse motivados a veces por pequeñas irregularidades en el acabado del revestimiento.

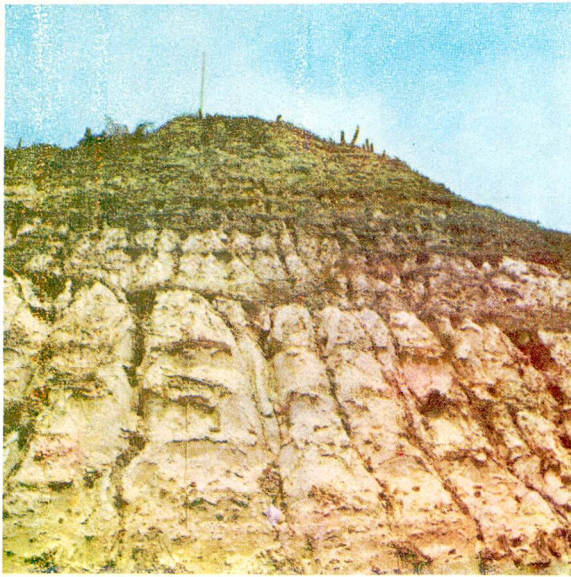
La dimensión de los brocales debe ser determinada en función del equipo de que se disponga para construirlos y mantenerlos y de acuerdo con el gasto de diseño estimado, según se especifica anteriormente (ver V.2 Recomendaciones Generales, y V.3, Gasto de Diseño).

Estos brocales pueden ser de asfalto o de concreto, resultando en la actualidad más económicos los primeros. Los de asfalto requieren, sin embargo, de maquinaria especializada para el mantenimiento.

VI.5.3 Control de la Socavación lateral

Es muy importante que el borde superior de los muros laterales de obras tales

como cunetas de coronamiento, canales, torrenteras, rápidos, etc., estén contruidos con un nivel menor que el terreno, de manera de permitir que las aguas entren al cauce y no socaven lateralmente la estructura.



VI-1 La protección no es apropiada para el tipo de suelo y la pendiente del talud.



VI-2 Bote incontrolado de material aguas arriba de una alcantarilla. Se ha debido exigir una reforestación y una compactación rudimentaria, pues los arrastres perjudican el funcionamiento de la alcantarilla.



VI-3 Sitio de préstamo aguas arriba de una alcantarilla. Se ha debido exigir reforestación para evitar los arrastres.



VI-4 Conucos en sitios impermisibles. Los suelos no protegidos propician los derrumbes y suministran material de arrastre que afectará el buen funcionamiento de cunetas y alcantarillas.

CAPITULO VII

RECOMENDACIONES RELATIVAS A LA PRESENTACION DE PROYECTOS DE DRENAJES PARA CARRETERAS

VII.1 GENERALIDADES

Los proyectos de drenajes para carreteras deberán ceñirse en todo momento a las "Normas para presentación de proyectos" de la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas. Sin embargo, además de ceñirse a estas normas, será conveniente atender las recomendaciones que se hacen en este Capítulo del Manual, recordando que con la presentación uniformizada de los proyectos no sólo se persigue una labor simplificada de revisión, sino que permite matener un registro completo de planos y documentos fácilmente accesibles, en el caso de que se hiciera necesaria la futura evaluación del funcionamiento de las estructuras hidráulicas.

Las recomendaciones que se hacen en este Capítulo ni contradicen ni substituyen las "Normas para presentación de proyectos", sino que más bien las complementan.

VII.2 DOCUMENTOS

Todos los cálculos y estimaciones son parte fundamental del proyecto y deberán ser incluidos en el Informe Técnico del Proyecto Definitivo, ateniéndose a lo especificado en las "Normas para presentación de Proyectos" de la Dirección de Vialidad.

Los cálculos deberán ser realizados en forma similar a la presentada en el ejemplo ilustrativo al final de este Capítulo.

VII.3 PLANOS

VII.3.1 Planos de detalles

Además de los detalles requeridos por las "Normas para la presentación de proyectos" de la Dirección de Vialidad, deberán prepararse planos detallados de todas las estructuras hidráulicas, tales como cámaras de disipación de energía, torrenteras, sumideros, tanquillas, tragantes y otras obras especiales.

VII.3.2 Planos de conjunto parciales con indicación de las hoyas hidrográficas

En los planos de las hoyas hidrográficas que mencionan las Normas, deberán indicarse las características relativas a la cobertura vegetal, tipo de suelo y pendiente de los terrenos, así como también el coeficiente de escorrentía establecido para estimar el gasto de diseño de acuerdo con el Método Racional (ver págs.107).

VII.3.3 Planos de planta

Queda entendido que en los planos de planta deberán aparecer debidamente identificadas todas las obras de drenaje tales como alcantarillas, puentes, estructuras de disipación de energía, brocales, cunetas, sumideros y canales laterales. Conviene además demarcar las hoyas contribuyentes a las cunetas de la calzada y de coronación, a los brocales, sumideros y a los canales. Indicar la pendiente, sección y revestimiento de canales y cunetas, precisando los aportes de gasto puntuales. En los casos en que existiera abundancia de datos que hiciera confuso el dibujo, deberán elaborarse planos de planta exclusivamente para indicar lo requerido anteriormente.

VII.3.4 Perfiles longitudinales de la vía

Además de los requisitos indispensables expuestos en las "Normas para presentación de Proyectos" de la Dirección de Vialidad, como son la ubicación exacta, diámetro y dimensiones de las alcantarillas, pontones y puentes y los niveles de agua observados, se deberá hacer referencia a las características estructurales de todas las obras de drenaje, bien sea sobre el mismo plano, cuando sean alcantarillas metálicas, o remitiéndose al plano apropiado donde aparezcan los detalles estructurales de las obras de concreto armado.

VII.3.5 Secciones transversales de la vía

Será conveniente tener una sección transversal en cada progresiva donde se tenga una alcantarilla o un pontón; esta sección servirá como perfil longitudinal de la alcantarilla.

VII.3.6 Perfiles longitudinales de los canales

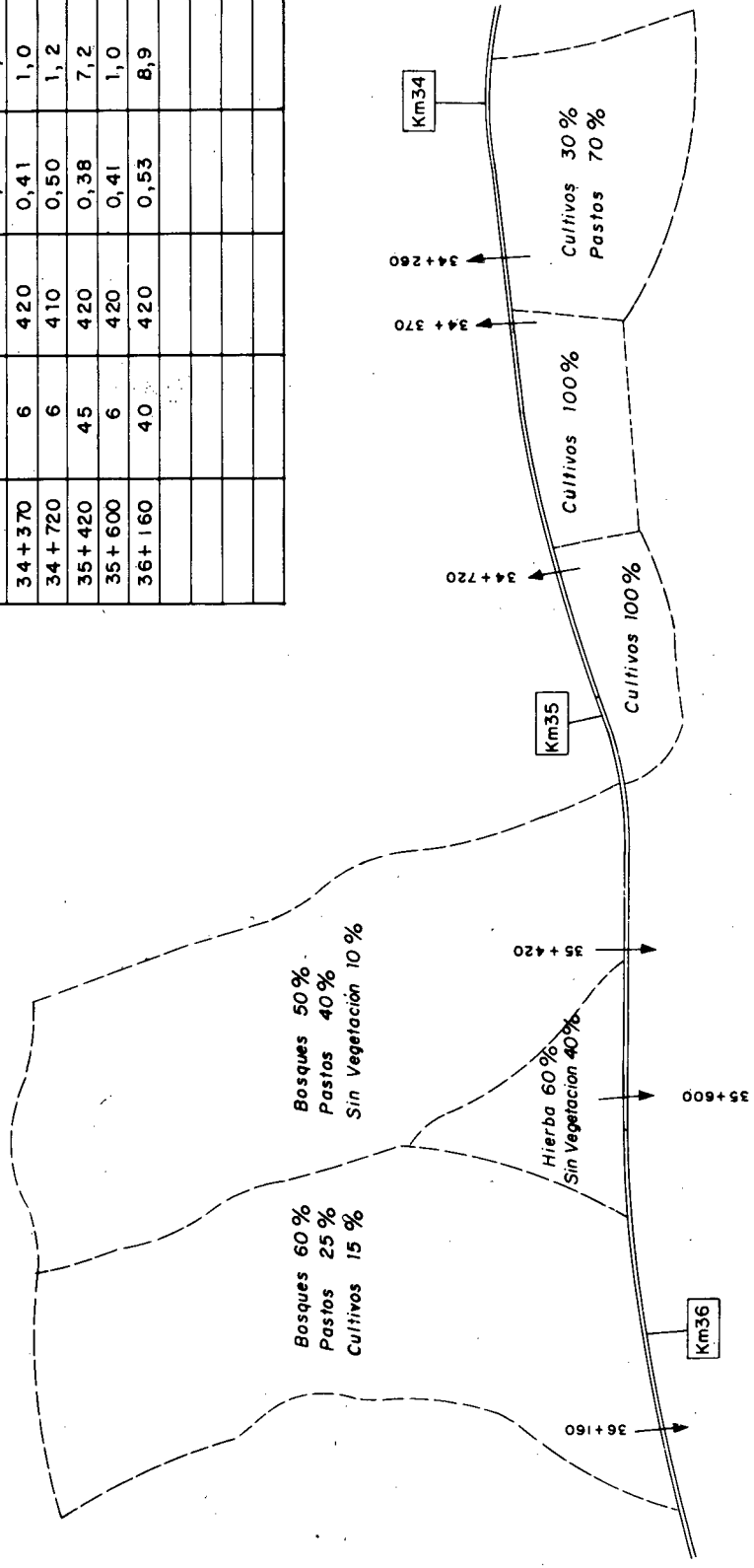
Se recomienda presentar perfiles longitudinales de los canales de drenaje de la vía y también de los que sirven de acceso y de salida a las alcantarillas, los cuales deberán satisfacer los mismos requisitos de dibujo que los perfiles longitudinales de la vía. En estos perfiles deberán aparecer: el terreno natural, la rasante del canal y el perfil de las aguas para el gasto de diseño.

VII.3.7 Alcantarillas importantes

En los cauces que requieran obras de drenaje tales como cajones de concreto o alcantarillas de diámetro mayor o igual a 1.52 metros, deben presentarse hojas de cálculo y planos donde aparezca identificada la obra mediante la progresiva y que contengan: una sección del cauce natural (tomada de los planos de planta) en el cabezal de entrada y una en el cabezal de salida, un perfil del cauce natural en una distancia de 150 metros aguas arriba y aguas abajo de los cabezales, unido al perfil de la alcantarilla; planta y perfil de obras adicionales tales como transiciones, canalizaciones y estructuras de disipación en escala apropiada para que se puedan apreciar los detalles.

En los perfiles debe venir indicado el nivel de aguas máximas y en las secciones la cota de rasante, de aguas máximas y del terreno natural.

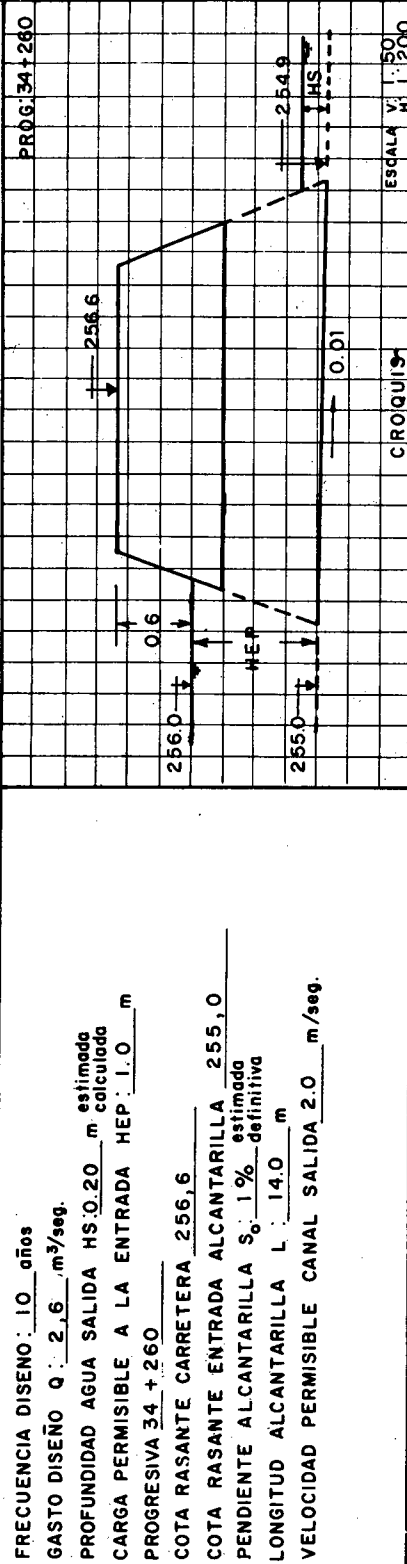
PROG.	AREA (has)	i (l.p.s./ha)	C (2)	Q (m ³ /seg)
34+260	14	420	0,44	2,6
34+370	6	420	0,41	1,0
34+720	6	410	0,50	1,2
35+420	45	420	0,38	7,2
35+600	6	420	0,41	1,0
36+160	40	420	0,53	8,9



**RESUMEN DE LAS HOYAS HIDROGRAFICAS
ESQUEMA**

(1) Ver tabla: Hidrología de los alcantarillos.
(2) Ver tabla: Coeficiente de escorrentía.

PROYECTO: MANUAL DE DRENAJE - EJEMPLO CALC. U.A. REV. H.F. HOJA N° 4 DE 10
 CALCULO DE ALCANTARILLA FECHA 2-9-67 FECHA 7-9-67



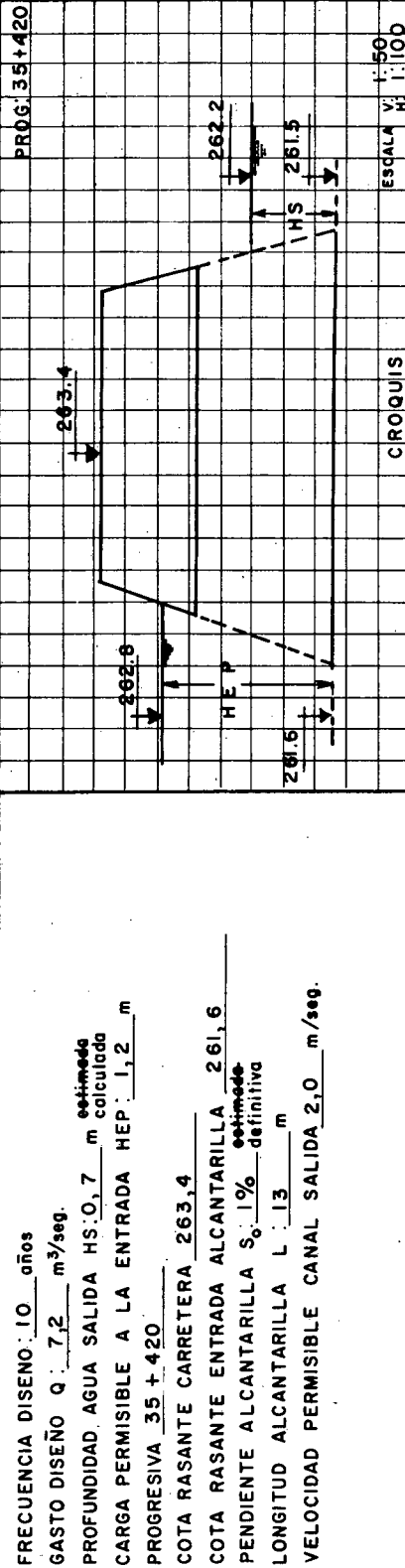
FRECUENCIA DISEÑO: 10 años
 GASTO DISEÑO Q: 2.6 m³/seg.
 PROFUNDIDAD AGUA SALIDA HS: 0.20 m estimada
 CARGA PERMISIBLE A LA ENTRADA HEP: 1.0 m calculada
 PROGRESIVA 34 + 260
 COTA RASANTE CARRETERA 256,6
 COTA RASANTE ENTRADA ALCANTARILLA 255,0
 PENDIENTE ALCANTARILLA S: 1% estimada
 LONGITUD ALCANTARILLA L: 14.0 m definitiva
 VELOCIDAD PERMISIBLE CANAL SALIDA 2.0 m/seg.

ALCANTARILLA Tipo, material, descripción de la entrada, etc	Q m ³ /seg	TAMAÑO	CALCULOS DE LA CARGA EN LA ENTRADA (HE)						OBSERVACIONES						
			CONTROL A LA ENTRADA		CONTROL A LA SALIDA (HE = H + h ₀ - L S ₀)										
			HE/D	HE (m)	C _E	H (m)	d _c (m)	d _c ² /D (m)		HS (m)	h ₀ (m)	LS ₀ (m)	HE (m)	HE (max) (m)	VELOCIDAD SALIDA (m/seg)
CIRCULAR, MET. CORR. ALETAS 45° DOBLE Ø 42"	1.3	1.07	0.90	0.96	0.5	0.26	0.35	0.71	0.20	0.71	0.14	0.83	0.96	1.9	COSTO MATERIAL=Bs. 4.400
ABOVEDADA MET. CORR. ALETAS 45° DOBLE	1.3	B1.27x.79D	1.05	0.83	0.5	0.37	0.48	0.64	0.20	0.64	0.14	0.87	0.87	1.4	" " Bs. 4.100
ABOVEDADA MET. CORR. ALETAS 45°	2.6	B1.83x1.12D	0.92	1.03	0.5	0.30	0.62	0.87	0.20	0.87	0.14	1.03	1.03	1.8	" " Bs. 4.500

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES USAR 2 ALCANTARILLAS ABOVEDADAS METAL CORRUGADO
B 1.27 x 0.79D - CALIBRE 12

PROYECTO: MANUAL DE DRENAJE
 EJEMPLO CALCULO DE ALCANTARILLA

CALC. U.A. REV. H.F. HOJA Nº 7 DE 10
 FECHA 3/9/67 FECHA 7/9/67



FRECUENCIA DISEÑO 10 años
 GASTO DISEÑO Q 7.2 m³/seg.
 PROFUNDIDAD AGUA SALIDA HS: 0.7 m *estimada*
 CARGA PERMISIBLE A LA ENTRADA HEP: 1.2 m
 PROGRESIVA 35 + 420
 COTA RASANTE CARRETERA 263.4
 COTA RASANTE ENTRADA ALCANTARILLA 261.6
 PENDIENTE ALCANTARILLA S: 1% *estimada*
 LONGITUD ALCANTARILLA L: 13 m
 VELOCIDAD PERMISIBLE CANAL SALIDA 2.0 m/seg.

ALCANTARILLA Tipo, material, descripción de la entrada, etc.	Q m ³ /seg	TAMAÑO	CALCULOS DE LA CARGA EN LA ENTRADA (HE)										OBSERVACIONES				
			CONTROL A LA ENTRADA		CONTROL A LA SALIDA (HE = H + h ₀ - L S ₀)						VELOCIDAD SALIDA						
			HE/D (m)	HE (m)	C _E	H (m)	d _c (m)	$\frac{d_c + D}{2}$ (m)	HS (m)	h ₀ (m)	LS ₀ (m)	HE (m)		HE (max.) (m)	(m/seg)		
CAJON CONCRETO ALETAS 45° 2 x 1	7.2	2.0 x 1.0	2.3	2.3													
IDEM pero 4 x 1	7.2	4.0 x 1.0	1.1	1.1	0.4	0.23	0.70	0.85	0.7	0.85	0.13	0.95	1.1	3.8	V > 2.0 m/seg.		
ALC. DOBLE ABOV. MET. CORR. B 1.83 x 1.12D ALETAS 45°	3.6	1.83 x 1.12	1.22	1.4	0.5	0.56	0.75	0.94	0.7	0.94	0.13	1.37	1.4		HE > HEP		
ALC. TRIPLE ABOV. MET. CORR. B 1.65 x 1.02D ALETAS 45°	2.4	1.65 x 1.02	1.06	1.1	0.5	0.39	0.62	0.82	0.7	0.82	0.13	1.10	1.1	1.5			
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES USAR ALCANTARILLA TRIPLE ABOVEDADA METAL CORRUGADO - B 1.65 x 1.02D - CALIBRE 12																	

ANEXO A

TABLA A-1

COEFICIENTE "n" DE MANNING

CANALES ABIERTOS

I. Canales recubiertos

I.1 Concreto, según los diferentes acabados:

I.1.1	Acabado liso	0.013
I.1.2	Acabado con cepillo	0.015
I.1.3	Acabado con cepillo con algo de grava en el fondo	0.017
I.1.4	Acabado rústico	0.017
I.1.5	"Gunite", sección bien acabada	0.019
I.1.6	"Gunite", sección ondulada	0.022

I.2 Fondo de grava y lados según se especifican:

I.2.1	De concreto	0.020
I.2.2	Zampeado	0.023
I.2.3	Gaviones	0.033

I.3 Asfalto

I.3.1	Liso	0.013
I.3.2	Rugoso	0.016

I.4 De hierba, sin podar

I.4.1	Gramma bermuda o similar	0.07
I.4.2	Hierbas 0.30 m. altura	0.11
I.4.2	Hierbas muy altas	0.14

II. Canales excavados

II.1 En tierra, sección uniforme

II.1.1	Limpios, sin vegetación	0.022
II.1.2	Hierba corta, algunas malezas	0.027

II.2 En tierra, sección aproximadamente uniforme

II.2.1	Sin vegetación	0.025
II.2.2	Hierba corta, algunas malezas	0.030
II.2.3	Plantas acuáticas, enea, etc.	0.035
II.2.4	Fondo de cantos rodados y taludes sin vegetación	0.040

II.3 Dragados

II.3.1	Sin vegetación	0.028
II.3.2	Vegetación ligera en los taludes	0.050

II.4 Sin mantenimiento	
II.4.1 Gran cantidad de malezas	0.080
II.4.2 Gran cantidad de malezas, arbustos y vegetación en las márgenes	0.100
II.5 En roca	
II.5.1 Sección uniforme y lisa	0.035
II.5.2 Sección irregular y escabrosa	0.040
III. CANALES NATURALES	
III.1 En terrenos con poca pendiente (menor de 1 %)	
III.1.1 Limpios, rectos, sin pozos, uniforme	0.030
III.1.2 Sección uniforme, rectos, sin pozos, con algo de piedra y malezas	0.035
III.1.3 Tramos con densa vegetación, árboles, arbustos	0.100
III.2 Torrentes, terrenos montañosos, sin vegetación, taludes escarpados	
III.2.1 Fondo de grava, escasos cantos rodados	0.040
III.2.2 Fondo con abundantes cantos rodados	0.050
IV. CONDUCTOS	
IV.1 Tubos de concreto	
IV.1.1 Prefabricados	0.012
IV.1.2 Vaciados en sitio	0.014
IV.2 Tubos de metal corrugado galvanizado	
IV.2.1 Corriente	0.024
IV.2.2 Con 25 % de su periferia pavimentada	0.021
IV.2.3 Con 50 % de su periferia pavimentada	0.018
IV.3 Hierro fundido	0.013
IV.4 Acero	0.010

ANEXO A

PROCEDIMIENTO PARA ESTIMAR EL COEFICIENTE "n" DE MANNING EN CANALES NO RECUBIERTOS

El valor de "n" puede ser estimado de acuerdo con el método utilizado por el "U.S. Soil Conservation Service".

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m_5$$

Donde:

- n_0 = es el valor básico del coeficiente establecido según el material para un canal recto, liso, de sección uniforme.
- n_1 = es una corrección adicional para tomar en cuenta los efectos de irregularidad superficial.
- n_2 = es una corrección adicional para tomar en cuenta las variaciones en forma y tamaño de la sección.
- n_3 = es una corrección adicional para tomar en cuenta los efectos de las obstrucciones producidas por arrastres, raíces, troncos flotantes.
- n_4 = es una corrección adicional para tomar en cuenta el efecto de la vegetación en el cauce.
- m_5 = es un factor de corrección para tomar en cuenta el efecto de los meandros.

Los valores de n_0 , n_1 , n_2 , n_3 , n_4 y m_5 aparecen en la siguiente Tabla.

CONDICIONES DEL CANAL		VALORES	
MATERIAL	Tierra	n ₀	0.010
	Roca excavada		0.015
	Grava fina		0.014
	Grava gruesa		0.028
GRADO DE IRREGULARIDAD SUPERFICIAL	Ninguno: como una superficie lisa	n ₁	0.000
	Escaso: como en los canales bien dragados, o aquellos con los lados algo socavados		0.005
	Moderado: como en los canales con taludes socavados		0.010
	Notable: como en los canales muy socavados, o aquellos excavados en roca, sin ningún acabado		0.020
VARIACION EN FORMA Y TAMAÑO DE LA SECCION	Gradual	n ₂	0.000
	Ocasional		0.005
	Frecuente		0.010—0.0015
EFECTO DE OBSTRUCCIONES	Despreciable	n ₃	0.000
	Escaso, como cuando los arrastres obstruyen algo el paso del agua		0.010—0.015
	Apreciable, como cuando se ven raíces y árboles que obstruyen el paso		0.020—0.030
	Notable, como cuando hay grandes troncos atascados, carameras grandes, etc.		0.040—0.060
VEGETACION	Baja, hierbas flexibles, la profundidad del agua es tres veces la altura de la vegetación predominante	n ₄	0.005—0.010
	Media: hierbas, arbustos; la profundidad del agua es como dos veces la altura de la vegetación predominante		0.010—0.025
	Alta: Hierbas, pequeños árboles; la profundidad del agua es comparable a la altura de la vegetación predominante		0.025—0.050
	Muy alta: la profundidad del agua es como la mitad de la altura de la vegetación predominante		0.050—0.100
EFECTOS DE LOS MEANDROS (*)	Escasos: Lm./Ls. entre 1.0 y 1.2	m ₅	1.00
	Apreciables: Lm./Ls. entre 1.2 y 1.5		1.15
	Notables: Lm./Ls. mayor de 1.5		1.30

(*) L_m , es la longitud del tramo medida a lo largo del curso de agua.

L_s , es la longitud del tramo medida en línea recta.

EJEMPLO

Determinar el valor del coeficiente "n" de Manning para un canal excavado en tierra, con algo de socavación en los taludes y con una sección muy uniforme a lo largo del tramo. Se aprecian muy pocas obstrucciones por el material flotante y las raíces de los árboles. La profundidad del agua es como el doble de la altura de la vegetación predominante en el cauce. La longitud del tramo medida en línea recta es 1.0 Km.; mientras que la medida a lo largo del curso es de 1.3 Km.

$$n_0 = 0.010$$

$$n_1 = 0.005 = \text{Grado de irregularidad superficial: escaso.}$$

$$n_2 = 0.000 = \text{Variación gradual en forma y tamaño de la sección.}$$

$$n_3 = 0.010 = \text{Escaso efecto de las obstrucciones.}$$

$$n_4 = 0.010 = \text{Vegetación media.}$$

$$\text{SUMA} = 0.035$$

$$m_5 = 1.15 : L_m = 1.3 \text{ Km.}, L_s = 1.0 \text{ Km.}, L_m/L_s = 1.3$$

$$n = (0.035) (1.15) = 0.040$$

