

**PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA UBICACIÓN Y  
DIMENSIONAMIENTO DE SUMIDROS DE CAPTACIÓN DE  
ESCORRENTÍA SUPERFICIAL Y ANÁLISIS DE SU COMPORTAMIENTO  
HIDRAULICO**

**LUIS FERNANDO CASTAÑEDA GALVIS  
CÓDIGO: 1982011**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2004**

**PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA UBICACIÓN Y  
DIMENSIONAMIENTO DE SUMIDROS DE CAPTACIÓN DE  
ESCORRENTÍA SUPERFICIAL Y ANÁLISIS DE SU COMPORTAMIENTO  
HIDRAULICO**

**LUIS FERNANDO CASTAÑEDA GALVIS  
CÓDIGO: 1982011**

**PROYECTO DE GRADO**

**DIRECTOR  
GERMÁN EDUARDO GAVILÁN LEÓN  
Ingeniero Civil, M. Sc., Ph. D.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2004**

**A**

**MI QUERIDA MADRE POR SU COMPRENSIÓN Y  
APOYO BRINDADO**

**V**

## CONTENIDO

	pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>1. ANTECEDENTES</b>	4
Definición de sumidero	4
Importancia de los sumideros en un sistema de alcantarillado pluvial	4
<b>1.1 DISEÑO TRADICIONAL</b>	5
Metodología actual para el diseño de los sumideros en Bucaramanga	6
Metodologías para el diseño de sumideros en otras ciudades del país	7
<b>1.2 ANÁLISIS DE LAS CURVAS DE DISEÑO DE SUMIDEROS EXISTENTES</b>	8
1.2.1 Características de las curvas existentes para sumideros laterales	9
1.2.2 Características de las curvas existentes para sumideros transversales	11
<b>1.3. PROBLEMAS CON LA METODOLOGÍA ACTUAL DE LA CDMB PARA EL DISEÑO DE SUMIDEROS</b>	12
1.3.1 Modificación de las estructuras originales	12
1.3.2 Suposiciones acerca del comportamiento de las estructuras para pendientes iguales y superiores al 5 %	15
1.3.3 Uso de las curvas para sumideros laterales y transversales ubicados en puntos bajos	16
1.3.4 Uso de las curvas de Diseño para todo tipo de pendientes transversales de calzada	17

1.3.5 Falta de suposiciones debido al transporte de sedimentos y basuras	17
1.3.6 Falta de parámetros de localización	17
<b>2. OBJETIVOS GENERALES Y ESPECIFICOS</b>	<b>18</b>
2.1 OBJETIVOS GENERALES	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
<b>3. FUNDAMENTOS EN EL DISEÑO DE SUMIDEROS</b>	<b>19</b>
3.1 ASPECTOS HIDROLOGICOS	19
3.1.1. Área de drenaje (A)	19
3.1.2 Intensidad de la lluvia	20
3.1.3 Tiempo de concentración (Tc)	20
3.1.3.1 Tiempo de entrada	20
3.1.3.2 Tiempo de Recorrido	21
3.1.4 Escorrentía	21
3.1.4.1 Coeficiente de escorrentía	23
3.1.4.2 Tipo de suelo	23
3.1.4.3 Uso del suelo	24
3.1.5 Métodos para determinar la porción de lluvia que se convierte en escorrentía	24
3.1.5.1 El método Racional	24
* Suposiciones y limitaciones del método racional	25
3.1.5.2 Método de la curva número de escorrentía (NCRS)	26
*Limitaciones del método del hidrograma unitario	29

3.2 ASPECTOS HIDRÁULICOS	29
3.2.1 Localización de los sumideros	30
3.2.2 Capacidad hidráulica de las calles	31
3.2.2.1 Secciones convencionales del canal triangular	32
3.2.2.2 Secciones Compuestas del canal Triangular	33
3.2.2.3 Secciones de canal sin pendiente transversal	34
3.2.3 Comportamiento hidráulico de los diferentes tipos de sumideros	34
3.2.4 Tipos de sumideros	36
3.2.4.1 Sumideros Laterales (o de ventana)	37
3.2.4.2 Sumideros de Rejilla	38
* Sumideros transversales	39
Rejillas Tipo (Utilizadas en Bucaramanga)	39
Rejillas Tipo (Utilizadas en España (Barcelona))	40
Rejillas Tipo (Utilizadas en Estados Unidos (FHWA))	44
3.2.4.3 Sumideros Combinados	48
3.2.4.4 Sumideros Ranurados	48
3.2.4.5 Ventajas y desventajas de los tipos de sumideros	49
<b>4. ESTADO DEL ARTE</b>	<b>51</b>
4.1 FACTORES QUE INCIDEN EN LA HIDRÁULICA DE LOS SUMIDEROS	51
4.1.1 Profundidad del agua	52
4.1.2 Pendiente longitudinal de la vía	52

4.1.3 Pendiente transversal de la vía	52
4.1.4 Rugosidad del pavimento	52
4.2. HIDRÁULICA DE LOS SUMIDEROS LATERALES (O DE VENTANA)	52
4.2.1 Cálculo de la capacidad en un sumidero lateral (o de ventana)	53
4.2.1.1 Sumideros laterales sin depresión adyacente	54
Metodología de Materón	54
Metodología de la Johns Hopkins University	55
Metodología de la FHWA	55
4.2.1.2 Sumideros laterales con depresión adyacente	56
Metodología de la Johns Hopkins University	56
Metodología de la FHWA	56
4.2.1.3 Sumideros laterales en puntos bajos	57
4.3 HIDRÁULICA DE LOS SUMIDEROS DE REJILLAS	59
4.3.1 Cálculo de la capacidad del sumidero de rejillas	59
Metodología Materón	60
Metodología de la Johns Hopkins University	64
Metodología Universidad de Catalunya	64
Metodología Americana	70
4.3.2 Sumideros de Rejillas en puntos bajos	72
4.4 HIDRÁULICA DE LOS SUMIDEROS RANURADOS	74
4.5 HIDRÁULICA DE LOS SUMIDEROS COMBINADOS	75

4.5.1 Metodología Bolinaga (INOS Venezuela)	75
4.5.2 Metodología (FHWA)	76
4.5.3 Sumideros combinados en puntos bajos	77
4.6 DEFINICIÓN DE LOS POSIBLES TIPOS DE SUMIDEROS A USARSE EN BUCARAMANGA	77
4.6.2. Sumideros de rejilla	78
4.6.2.1. Sumideros transversales	79
4.6.3 Sumideros combinados	79
<b>5. METODOLOGÍA DE DISEÑO</b>	<b>80</b>
5.1 ESTIMACIÓN DEL CAUDAL CIRCULANTE	80
5.2 CAPACIDAD HIDRÁULICA DE LAS CALLES	80
5.3 SUMIDEROS LATERALES	80
5.3.1 Estimación de las curvas de diseño (Captación en ruta)	81
5.3.2 Pérdidas debido a las barras	85
5.3.3. Pérdidas debidas a taponamiento por basuras	85
5.3.4 Eficiencia de los sumideros laterales (Captación en ruta)	85
5.3.5 Sumideros laterales ubicados en puntos bajos (Captación en batea)	85
5.4 SUMIDEROS DE REJILLA	86
5.4.1 Ranking de rejillas	86
5.4.1.1 Eficiencia de las rejillas	88
5.4.1.2 Cálculo del coeficiente de descarga de las rejillas existentes en Bucaramanga	90

5.4.2 Curvas de eficiencia para las rejillas existentes en Bucaramanga	91
5.4.3 Longitud requerida por una serie de rejillas para captar el caudal circulante	95
5.4.4 Sumideros transversales	102
<b>5.5 SUMIDEROS COMBINADOS</b>	106
5.5.1 Eficiencia de las rejillas tipo semipesado en depresión	106
<b>6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	107
<b>7. BIBLIOGRAFÍA</b>	110
<b>ANEXO 1</b>	113
<b>ANEXO 3</b>	136
<b>ANEXO 4</b>	161
<b>ANEXO 5</b>	168

**TITULO:** PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA UBICACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE SUMIDEROS DE CAPTACIÓN DE ESCORRENTÍA SUPERFICIAL Y ANÁLISIS DE SU COMPORTAMIENTO HIDRAULICO<sup>22</sup>

**AUTOR:** LUIS FERNANDO CASTAÑEDA GALVIS\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Sumideros, caudal de Escorrentía, capacidad de las calles, capacidad de captación, eficiencia de los sumideros, localización de sumideros, diseño de sumideros, sumideros de rejillas, sumideros laterales.

**RESUMEN:** En este proyecto se presentan algunos de los problemas que han influenciado el diseño de sumideros en la ciudad de Bucaramanga a través del tiempo. Se propone que las vías funcionan como canales de triangulares, con tirantes pequeños; para esto se hace uso de la ecuación de Izzard, ecuación producto de la integración de la ecuación de Manning.

En el proyecto se expresan parámetros usuales para la localización de sumideros dependiendo del tipo de vía y sistema de drenaje.

Se presenta una metodología para determinar la longitud necesaria para captar todo el caudal circulante en una vía para sumideros laterales, esto basado en las ecuaciones experimentales propuestas por la Federal Highway Administration (FHWA). Se caracteriza la capacidad hidráulica de las rejillas existentes en Bucaramanga, Tipo Concreto, tipo liviano y tipo pesado. En este proyecto se determinan dos posiciones elementales que pueden tener las rejillas existentes cuando se ubican en vías urbanas. Se establece una metodología para determinar la longitud necesaria por un conjunto de rejillas funcionando en posición normal o posición transversal ya sea en sumideros de rejilla o en sumideros transversales basados en las ecuaciones de rejilla de fondo de Motskow, determinando el coeficiente de descarga de una rejilla en términos absolutos.

Al final del proyecto se hace una serie de recomendaciones acerca del uso de los sumideros y se propone un sumidero combinado para aumentar la eficiencia de los sumideros laterales. Se concluye que la metodología adoptada para la localización de los sumideros en Bucaramanga debe ser cambiada o bien corregir los errores en los que se ha incurrido a través del tiempo.

---

22

TRABAJO DE GRADO

\*\* FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECÁNICAS, ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL, DIRECTOR ING. GERMÁN EDUARDO GAVILÁN LEÓN

**TITLE:** A METHODOLOGY TO LOCALIZATION AND HYDRAULIC DESIGN OF THE STORMWATER RUNOFF INLETS AND ANALISIS OF THE HYDRAULIC BEHAVIOR OF THE INLETS<sup>23</sup>

**AUTHOR:** LUIS FERNANDO CASTAÑEDA GALVIS\*\*

**KEY WORDS:** Inlet, Runoff Flow, Street capacity, catch basins, inlets efficiency, inlet location, inlet design, grate inlets, curb inlets, combination inlets.

**ABSTRACT:** In this project are introduced some problems to have influenced in the inlets design in the Bucaramanga city although of time. An analogy that the streets works like a triangular gutter is proposed. For this subject is presented the Izzard's equation that is an integration of the Manning's equation.

A methodology to determine the necessary length for a curb inlets based in experimental equations of the Federal Highway Administration (FHWA) is presented. This project characterizes the hydraulic capacity of the existents grates in Bucaramanga city, concrete type, light type, medium heavy type and heavy type. An usual parameters for the localization of the inlets depending of the street type or the function of the drainage system are expressed.

This project determines two elemental positions that the grates can take in roads, normal position and transversal position. A methodology to determine the necessary length for some grates in different positions, normal position and transversal position working in transversal inlets or as grate inlets is established, the previous topic is based in deep grates equations of Mostkow, determining previously the discharge coefficient in absolutes endings.

In the end of this project there are a series of recommendations about the correct location of the inlets in roads and there is a proposal of a combination inlet to improve the efficiency of the curb inlets. In conclusion the actual methodology use in a Bucaramanga city must be changed or as well to correct the mistakes that have done although the time.

---

<sup>23</sup> TRABAJO DE GRADO

\*\* FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO – MECÁNICAS, ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL, DIRECTOR ING. GERMÁN EDUARDO GAVILÁN LEÓN

## INTRODUCCIÓN

El crecimiento de las aglomeraciones urbanas en la actualidad es más amplio y complejo. Hoy en día hay más áreas pavimentadas, gran cantidad de edificios, vías más amplias y en general muchas cuencas naturales que se han convertido en cuencas urbanizadas.

Los procesos de urbanización intensiva en este momento son muy comunes; dichos procesos requieren una inversión muy alta, en lo que a obras de infraestructura de drenaje de aguas lluvias se refiere; esto con el objeto de evitar el peligro y los costos elevados tanto económicos como sociales que generan las inundaciones urbanas.

Es muy común hoy en día la tendencia al desplazamiento de la población desde las zonas rurales a las zonas urbanas. En la actualidad se considera que cerca del 50 % de la población mundial reside en las zonas urbanas, porcentaje que ha aumentado en más de un 80 % en los últimos 20 años.

El proceso de urbanización modifica notablemente la hidrología de las cuencas en las cuales esta se produce, es decir el proceso de urbanización modifica la red hidrográfica con la alteración de redes de drenaje natural (construcción de colectores y encauzamientos) y con el proceso de transformación de la *lluvia a escorrentía*. Es necesario hacer el ajuste adecuado debido a los procesos de urbanización, pues en algunos casos no se considera el aumento de los caudales de escorrentía, generado por la impermeabilización del suelo en los procesos de urbanización.

La urbanización disminuye el tiempo que transcurre entre el inicio de la escorrentía provocada por la lluvia y el máximo caudal, es decir el proceso de urbanización ocasiona una disminución en el tiempo de concentración, también conlleva a que la zonas situadas aguas abajo de las zonas urbanizadas se vean afectadas por caudales significativos que generan problemas de inundación, los cuales pueden ser graves o no, dependiendo del grado de inclinación de la zona.

El diseño de un sistema de drenaje es muchas veces el resultado de análisis hidráulicos poco o nada justificados, en algunos casos el que se empleen procedimientos de cálculo inadecuados y sin una visión global de la red, dan como resultado final en la mayoría de las ocasiones, redes con capacidades de drenaje muy deficientes.

Cuando la lluvia cae sobre una superficie pavimentada, forma una película fina de agua la cual aumenta de profundidad a medida que se desplaza

debido al bombeo de la vía hacia el borde del pavimento. Rápidamente las vías y sus cunetas se convierten en canales que reciben y transportan el agua lluvia aunque estos canales tiene unas características muy particulares como son: tener poca profundidad, secciones muy anchas y escaso desnivel.

En Colombia hay gran cantidad de ciudades las cuales no poseen un alcantarillado pluvial y mucho menos un sistema de drenaje superficial bien elaborado. Tal es el caso de ciudades de la costa Atlántica y Pacífica en donde son muy comunes las inundaciones.

El Ministerio de Desarrollo Económico (Sección de Agua Potable) y la Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (ACODAL) han establecido en el título D de la Norma RAS-2000 un breve capítulo de Diseño de Sumideros, el cual carece de unos parámetros claros de localización y de un análisis hidráulico justificado de los diferentes tipos de sumideros .

En Bucaramanga en el año 1979 la CDMB (Corporación Autónoma y Regional para la defensa de la Meseta de Bucaramanga) realizó una consultoría para el diseño de sumideros a una empresa Bogotana denominada Hidroestudios Ltda, (Ingenieros Consultores) como parte de un plan Maestro de Alcantarillado realizado por la CDMB para la época. Durante más de 20 años se ha venido utilizando la metodología implementada por Hidroestudios, de la cual hoy en día la CDMB tiene ciertas dudas debido a que en ciertos casos no les ha dado los mejores resultados y también porque dicha metodología carece de un análisis hidráulico claro y justificado.

En esta tesis se presenta en su capítulo 1, una serie de antecedentes de algunos cambios que han sufrido los sumideros realizados en la ciudad de Bucaramanga en los últimos años, cambios que han tenido sumideros laterales y transversales sin modificar las curvas de diseño. También este capítulo presenta los problemas que presenta la metodología actual de la CDMB para el diseño de sumideros.

El capítulo 2 presenta los objetivos generales y específicos de este proyecto, debido a que se ve la necesidad de hacer ciertas modificaciones a la metodología existente.

En el capítulo 3 se muestran los principales factores hidrológicos y hidráulicos que afectan el diseño de los sumideros. En este capítulo se presentan los métodos más importantes para la determinación del caudal de escorrentía como son el método Racional y el método de la **U.S. Soil Conservation Service**, se presentan también unos parámetros para la ubicación de los sumideros, se muestra como determinar la capacidad hidráulica de las calles, así como una clasificación de los sumideros con sus respectivas ventajas y desventajas.

En el capítulo 4 se presenta los tipos de sumideros existentes en la bibliografía, así como las metodologías utilizadas en ciertas partes del mundo para determinar la capacidad de captación de estos tipos de sumideros.

Entre las metodologías estadounidenses se mencionan estudios por la FHWA (**Federal Highway Administration**), **Texas Department of Transportation**), en las metodologías Europeas se muestra un modelo de calibración de rejillas a priori desarrollado en la **Universitat Politècnica de Catalunya**, expuesto en XIX Congreso Latinoamericano de Hidráulica - Córdoba 2000, para ellas se presentan condiciones de captación y hipótesis de flujo.

En el capítulo 5 se propone una metodología para el diseño de sumideros partiendo desde los métodos hidrológicos para la determinación del caudal de escorrentía. Dicha metodología se establece para los sumideros seleccionados y para los existentes en la actualidad que hoy en día no están siendo diseñados de la manera más apropiada. En este capítulo se incluyen curvas de diseño para el diseño de estos así como un ranking de rejillas entre las utilizadas en Bucaramanga (Reglamentadas por la CDMB).

En el capítulo 6 se establecen conclusiones acerca de la metodología propuesta y ciertas recomendaciones de diseño de sumideros en caso de cambio en las características hidráulicas de los sumideros.

Se construirá un manual de diseño con parámetros de localización, metodología y diseño de los sumideros que la CDMB a su tiempo implementará.

## 1. ANTECEDENTES

Cuando la lluvia cae sobre una superficie pavimentada, se forma una película fina de agua la cual aumenta de profundidad a medida que se desplaza hacia el sardinel debido al bombeo de la vía. El agua generada es evacuada por drenajes que forman parte de un sistema de alcantarillado pluvial y los cuales se denominan sumideros.

**Definición de sumidero** La CDMB<sup>3</sup> define a los sumideros como estructuras diseñadas para la captación de aguas lluvias o escorrentía superficial, las cuales pueden estar localizadas en forma lateral o transversal en las vías, para conducir las y entregarlas posteriormente a los sistemas de alcantarillado pluvial o combinado, ya sea a un pozo de inspección, a un cauce o canal abierto.

### **Importancia de los sumideros en un sistema de alcantarillado pluvial**

Cuando no se posee sumideros en un alcantarillado pluvial, o se poseen unos deficientes o mal elaborados, se pueden ocasionar ciertos problemas debido a la acumulación de agua en las calles y entre los cuales se encuentran:

- La perturbación del tráfico rodado o peatonal, interfiriendo así con el correcto desarrollo de las actividades ciudadanas.
- El Aumento del riesgo de los vehículos a patinar, debido a que se crea una película de agua en la vía la cual reduce el factor de fricción que interactúa entre las llantas del vehículo y la superficie del pavimento.
- La reducción de la visibilidad del conductor debido al salpique y chapoteo.
- La dificultad en la maniobrabilidad de los vehículos cuando las llantas frontales de estos encuentran charcos.
- El incremento en el potencial de los vehículos a hidroplanear, fenómeno que se puede explicar de la siguiente manera: Cuando un neumático encuentra una película de agua en una vía, el agua trata de pasar a través de las ranuras del neumático, el cual se mantiene balanceado gracias a capacidad de drenaje de las ranuras de las llantas y a la rugosidad superficial del pavimento. Cuando el agua llega a una altura determinada, la capacidad de drenaje de las ranuras de las llantas disminuye, así como también el agarre de estas con la superficie del pavimento.

<sup>3</sup> CDMB, Normas Técnicas para diseño y presentación de proyectos de Alcantarillado, Convenio Sena\_Camacol,2000

Dicha insuficiencia en la capacidad de drenaje ocasiona una cuña de agua delante de las llantas, la cual produce una fuerza hidrodinámica que hace levantar las llantas de la superficie del pavimento, ocasionando que el neumático pierda su capacidad tractiva y que el conductor pierda el control del vehículo.

- El aumento del riesgo de inundación
- El incremento en el riesgo de erosión cuencas.
- El deterioro del pavimento al no evacuar correctamente el agua.
- La modificación del sistema de caudales en la red, esto es si el agua no entra a los sumideros en las zonas previstas, se puede incurrir a aliviar tramos de alcantarillado donde el agua no entra y estar sobrecargando otros, los cuales pueden estar ubicados en subcuencas diferentes. (*Ver figura 1 del anexo 1*).

## **1.1 DISEÑO TRADICIONAL**

A través de los años Hidroestudios Ltda, ingenieros consultores, ha sido una empresa que ha colaborado sustancialmente en los trabajos realizados por la CDMB. Dicha empresa ha sido contratada en Bucaramanga para estudios tales como; estudio de factibilidad del control de la erosión en la Meseta, elaboración del alcantarillado maestro y elaboración del plan integral de saneamiento ambiental de la ciudad entre otros.

En el año de 1979 Hidroestudios Ltda, realiza un informe para la CDMB, acerca del diseño de sumideros como parte del alcantarillado maestro realizado para esa época. Ahí se clasifican los sumideros de acuerdo a su localización relativa respecto de las calzadas de las vías, se explica los tipos de captación que puede tener un sumidero según la clasificación realizada y se muestran curvas y planos para el diseño de sumideros tanto laterales como transversales.

En el año de 1984, Hidroestudios Ltda, es la encargada de realizar las “Normas técnicas para el diseño de alcantarillado”, en las cuales se presentan definiciones básicas, procedimientos para la elaboración de proyectos, elementos de alcantarillado sanitario, pluvial y combinado así como gráficas de elementos de alcantarillado. En esta norma se incluyen planos de sumideros laterales y transversales, aunque los planos de los sumideros transversales incluidos en esta norma, no coinciden con la del diseño original, (*Ver Figura 2 y 3 Anexo 1*), por lo cual más adelante fueron omitidas por la CDMB.

En el año 1994, se realiza la primera actualización de dichas normas, a cargo de la firma URBAR LTDA, con la coordinación de la Subdirección de Saneamiento de Corrientes de la CDMB. Esta norma es muy similar a la primera aunque se incluyen algunos cambios en el tragante de los sumideros laterales, con respecto al diseño original. Con respecto a los sumideros transversales se vuelve al diseño original y se omiten los planos de la norma de 1984, que no corresponden a éste. En el año 2000, se realiza una segunda actualización de dicha norma, en la cual se introducen también cambios en el tragante de los sumideros laterales. Con respecto a los sumideros transversales se conservaron de la manera original.

***Metodología actual para el diseño de los sumideros en Bucaramanga*** La CDMB tiene en la actualidad como base para el diseño de sumideros, el estudio realizado en el año de 1979 por Hidroestudios Ltda, el cual se presenta en Hidroestudios<sup>21</sup> y se señalan sus características más importantes a continuación:

*Definiciones* Hidroestudios clasifica a los sumideros de acuerdo a su localización relativa en las calzadas de las vías, en sumideros laterales y en sumideros transversales.

Los sumideros laterales son aquellos que se construyen siguiendo el alineamiento de los andenes; tiene como nomenclatura la sigla "SL" y de acuerdo con la dimensión longitudinal del orificio de captación, se clasifican así:

*SL-200*: Sumidero Lateral con 2 m de captación

*SL-400*: Sumidero Lateral con 4 m de captación

*SL-600*: Sumidero Lateral con 6 m de captación

Las dimensiones y características de estos sumideros propuestas en el diseño original de Hidroestudios, se presentan en las *figuras 4, 5, 6 del anexo 1*.

Los sumideros transversales son aquellos que se construyen sobre las calzadas de las vías y transversalmente a ellas, tienen como nomenclatura la sigla "ST" y de acuerdo con la luz libre de las rejillas en el sentido del eje longitudinal de la calzada, se clasifican así:

*ST-40*: Sumidero transversal con una rejilla de luz libre igual a 40 cm.

*ST2-40*: Sumidero transversal con una rejilla con apoyo intermedio y una luz libre de 90 cm. La estructura tiene dos compartimentos de 40 cm de luz libre.

<sup>21</sup> HIDROESTUDIOS LTDA, Ingenieros Consultores, Informe N<sup>o</sup>. 032-GA-91, Alcantarillado maestro diseño de sumideros, 1979

Las dimensiones de los sumideros transversales del diseño original de Hidroestudios se presentan en las *Figuras 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 del anexo 2*.

Localización de los sumideros Hidroestudios se clasifica las captaciones desde el punto de vista de localización topográfica, como captaciones en ruta y captaciones en batea; y expresa que estas captaciones pueden hacerse utilizando sumideros laterales, sumideros transversales o ambos. Hay captación en ruta cuando el flujo que llega a un sumidero tiene la posibilidad de continuar su curso si no es captado y en batea cuando el flujo que llega a un sumidero no tiene posibilidad de continuar su curso y se almacena en la vía. Hidroestudios ilustra algunos parámetros de ubicación los cuales denomina puntos de captación y los cuales se localizan antes de las bocacalles suponiendo que allí se capta la escorrentía que entró a la vía en la bocacalle anterior de aguas arriba. Esta característica se basa en que el flujo se desplaza al sumidero debido a la geometría de la calle es decir por su pendiente y no por otros factores.

Diseño Hidráulico Hidroestudios expresa que la Hidráulica de los sumideros debe basarse más en las conclusiones de carácter experimental que en los cálculos teóricos. Hidroestudios basó su estudio en ecuaciones, tablas y gráficos del manual **Bureau of Public Roads**<sup>24</sup> complementándolos teóricamente con Subramanya-Awanhy<sup>25</sup>. De este estudio se obtuvieron las *figuras 7 y 8 del anexo 1*. La metodología consiste en determinar la porción de lluvia que se convierte en escorrentía; para esto se utiliza la formula racional:

$$Q = C * i * A$$

Luego de tener un valor de caudal que es el que se supone entrará en los sumideros, se ingresa a las *figuras 7 o 8 del anexo 1*, dependiendo del tipo de sumidero que se vaya a construir y las características geométricas, topográficas de la vía. En estas curvas se entra con un valor de caudal y se determina una longitud. En la *figura 7 del anexo 1*, dicha longitud corresponde a la necesaria por un sumidero lateral, para captar toda el agua circulante en la vía. En la *figura 8 del anexo 1* la longitud corresponde a la necesaria por una rejilla o un conjunto de rejillas (con dimensión en el sentido del flujo constante), para captar toda el agua circulante en una vía. Estas curvas no suponen el taponamiento de basuras en las hipótesis de flujo.

***Metodologías para el diseño de sumideros en otras ciudades del país.***  
En otras regiones del país el diseño de sumideros se realiza de manera muy

---

<sup>24</sup> BUREAU OF PUBLIC ROADS, Drainage of Highway Pavements, Hydraulic Engineering Circular N° 12, Washington, 1969

<sup>25</sup> Kanakatti Subramanya and Subhash Chandra Awanhy , Journal of Hidraulics Division Water-Resources Engineering, Spaliially Varied Flow Over Side Weirs.

similar se tienen unos tipos de sumideros preestablecidos y se entran a una serie de curvas las cuales, presentan la capacidad de captación de estos con respecto a la pendiente de la depresión adyacente a ellos.

Metodología de Bogotá En Dresser-McKee<sup>34</sup> presentan para la ciudad de Bogotá una serie de sumideros estandarizados y para cada uno de ellos, unas curvas que nos dan la capacidad de captación de cada tipo de sumidero dependiendo de la pendiente transversal de la vía.

Los sumideros estandarizados se denotan de la siguiente forma Tipo A, Tipo B, Tipo C, Tipo D, Tipo E. Los gráficos correspondientes a estos sumideros se presentan en las *figuras 9, 10, 11, 12, 13 del anexo 1*.

Las curvas correspondientes a la capacidad de estos sumideros se presentan en las *figuras 14 y 15 del anexo 1*.

Metodología de Medellín En Pacheco<sup>35</sup>, se presenta una metodología que inicialmente se realizó para la ciudad de Medellín en el año de 1974 y luego en el año de 1976 fue propuesta por la ciudad de Bogotá. La metodología es la siguiente:

Primero se calculan las áreas de drenaje para cada uno de los sumideros, segundo se estima el caudal de escorrentía en litros por segundo por hectárea, para un tiempo de concentración que depende de la longitud del recorrido, clase y pendiente de la superficie, tercero determina el caudal que transita por la vía, con el método racional, cuarto se determina la altura de lamina de agua en la vía, conociendo la pendiente de calle y utilizando la *figuras 16 y 17 del anexo 1*, se utiliza el gráfico correspondiente a cada sumidero empleado se procede a calcular el caudal interceptado por cada uno de ellos, dichos gráficos se presentan en las *figuras 18, 19, 20, 21 del anexo 1*.

## **1.2 ANÁLISIS DE LAS CURVAS DE DISEÑO DE SUMIDEROS EXISTENTES**

La metodología actual de la CDMB para diseñar los sumideros, como se hizo mención anteriormente esta basada en gráficas y ecuaciones sacadas del **Bureau of Public Roads**<sup>22</sup> complementados teóricamente por **Subramanya-Awanhy**<sup>23</sup>.

<sup>22</sup> BUREAU OF PUBLIC ROADS, Drainage of Highway Pavements, Hydraulic Engineering Circular N° 12, Washington, 1969

<sup>23</sup> SUBRAMANYA K, CHANDRA A, Journal of Hidraulics Division Water-Resources Engineering, Spatially Varied Flow Over Side Weirs.

<sup>34</sup> DRESSER-MCKEE, Report on Master Plan for Sewage Works, (1962), Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.

<sup>35</sup> PACHECO, Raúl, Nuevo Procedimiento para el cálculo de drenaje en Urbanizaciones, Raúl Pacheco Ceballos, Restrepo y Uribe Ltda., Ingenieros consultores (1976)

Dichas gráficas a su vez se encuentran basadas en ecuaciones propuestas en una metodología desarrollada por **Jhons Hopkins University**<sup>17</sup>.

A continuación se presentan las características más importantes de la metodología desarrollada **Jhons Hopkins University** y en la cual es la base de las curvas con las cuales se diseñan actualmente los sumideros en Bucaramanga.

### 1.2.1 Características de las curvas existentes para sumideros laterales

La metodología desarrollada por la **Jhons Hopkins University**<sup>17</sup>, se basa en que la capacidad de captación ( $Q_i$ ) de un sumidero lateral con depresión podría ser expresada mediante la siguiente *ecuación 1.1*.

$$K + C = \frac{Q_i}{L * Y_A * \sqrt{g * Y_A}} \quad (\text{Ecuación 1.1})$$

Donde:

K= Parámetro definido en el caso de los sumideros sin depresión, definido por **Jhons Hopkins University**<sup>17</sup>. Para valores de  $S_x$  de 8%, 4% y 2%, K resultó ser de 0.23, 0.20, y 0.20 respectivamente. Stephenson<sup>33</sup> menciona que el valor de K es igual a 0.23 para valores de  $\tan\theta_0=12$  y K es igual a 0.20 para valores de  $\tan\theta_0=24$  y  $\tan\theta_0=48$  o mayores (*Ver figura 1.1*). La ecuación puede aplicarse con seguridad hasta un valor  $V_A / \sqrt{g * Y_A}$  igual a 3 limite superior del ensayo.

C= Valor Determinado por la *ecuación 1.2* y *1.3*, donde  $Y_A$  y  $V_A$  corresponden al flujo de aproximación.

$$C = \frac{0.45}{1.12^M} \quad (\text{Ecuación 1.2}) \quad \text{Donde: } M = \frac{L * F^2}{a * \tan\theta} \quad (\text{Ecuación 1.3})$$

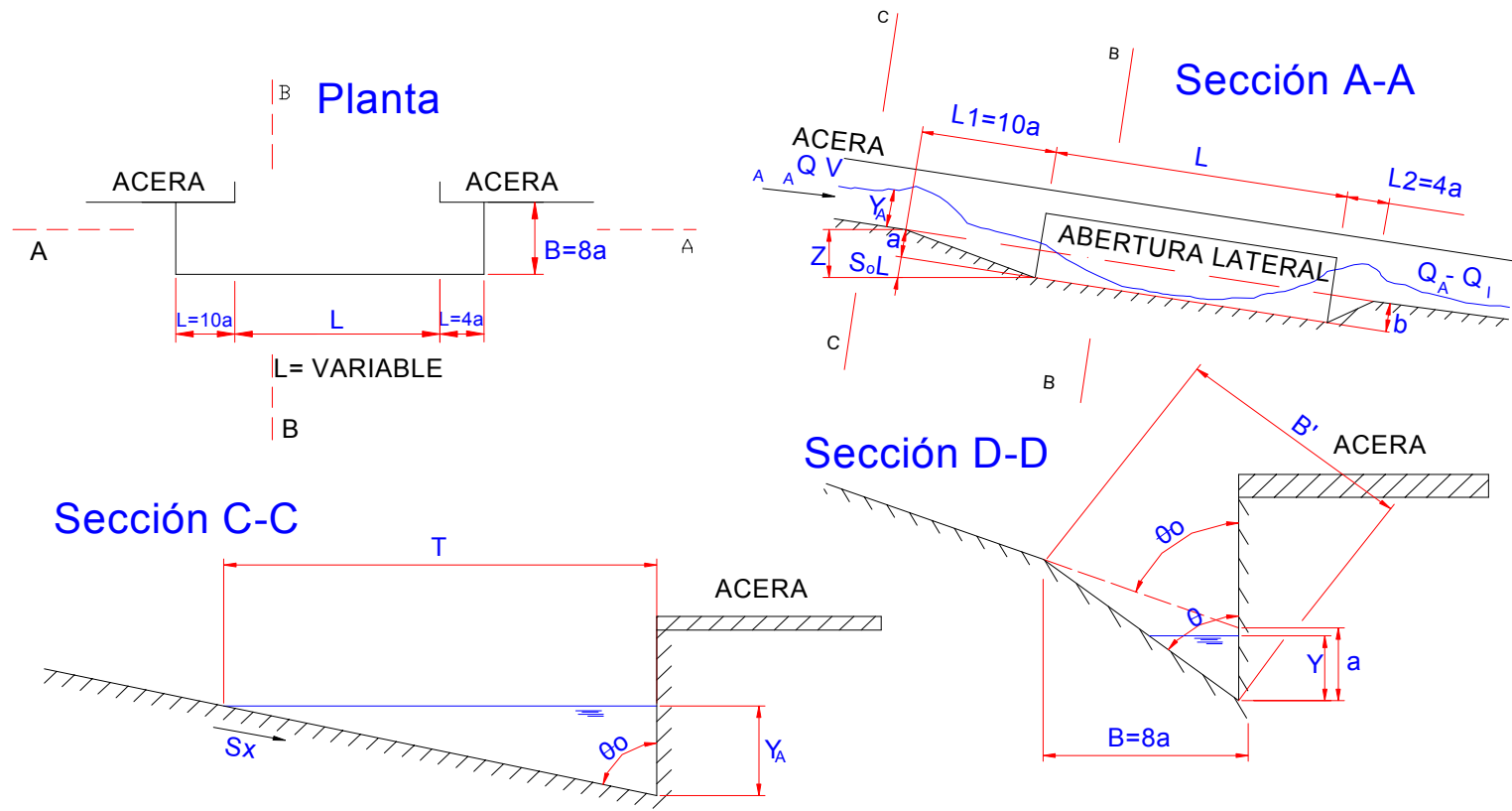
F es un factor definido en la *Ecuación 1.4* y el valor de  $\tan\theta$  en la *Ecuación 1.5*.

$$F^2 = \frac{V_A^2}{g * Y_A} \quad (\text{Ecuación 1.4}) \quad \tan \theta = \frac{B'}{a} \quad (\text{Ecuación 1.5})$$

<sup>17</sup> JOHNS HOPKINS UNIVERSITY, The Design of Stormwater inlets. Report of the Storm Drainage Community, (1956)

<sup>33</sup> STEPHENSON, D, Stormwater Hydrology and Drainage, Developments in Water Science, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam-Oxford-New York, (1981)

**Figura 1.1 Detalles sumideros laterales (Metodología Johns Hopkins University)**



Tomado de BOLINAGA J.J, Drenaje Urbano, Instituto Nacional de Obras Sanitarias de Venezuela, (1979)

Hay que señalar que para estos tipos de sumideros (ver figura 1.1) la longitud L debe ser por lo menos 10 veces la profundidad de la depresión a. Además estas ecuaciones deben tener por lo menos un valor de L<sub>2</sub> (Longitud aguas abajo) de cuatro veces la depresión a.

**1.2.2 Características de las curvas existentes para sumideros transversales** Las bases de la metodología de la **Jhons Hopkins University**<sup>17</sup>, para sumideros de rejilla, la cual fue utilizada como base por Hidroestudios<sup>21</sup>, se deriva de los conceptos de caída libre en rejillas de fondo (Ver figura 1.2).

$$Y = \frac{g \cdot t^2}{2} \quad \therefore t = \sqrt{\frac{2 \cdot Y}{g}} \quad \Rightarrow X = v \cdot t \quad \Rightarrow X = \sqrt{\frac{2 \cdot q^2}{g \cdot Y}}$$

Si se cambia la distancia (X), por una distancia (L<sub>0</sub>), se obtiene la ecuación 1.7, donde (L<sub>0</sub>) es la longitud que debe tener una rejilla para captar todo el caudal.

$$L_0 = K \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot q^2}{g \cdot Y}} = K \cdot \frac{Y_A \cdot V_A}{\sqrt{g \cdot Y_A}} \quad (\text{Ecuación 1.7})$$

El valor de Y es el correspondiente a la profundidad hidráulica. La profundidad hidráulica se define como el Área mojada (A) dividida entre el ancho (B).

**Jhons Hopkins University**<sup>17</sup> expresa que el método solo es válido para rejillas con barras longitudinales, es decir, paralelas a la dirección del flujo y sin depresión. Stephenson<sup>33</sup> menciona que la ecuación 1.7 puede utilizarse cuando hay barras paralelas en el sentido del flujo siempre y cuando  $a/b > 1$ . (Ver figura 1.3).

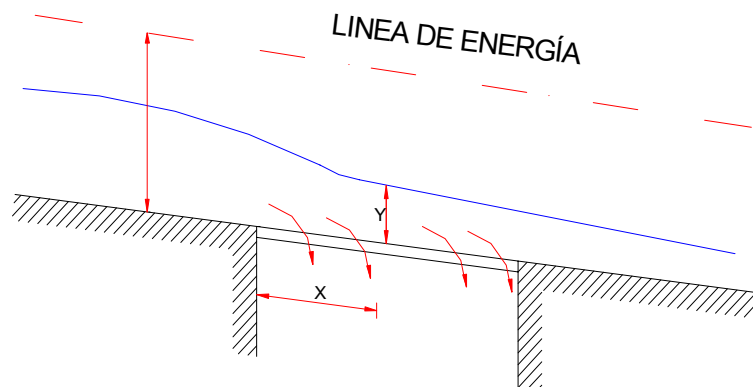
Bolinaga<sup>7</sup>, menciona que la longitud real de la rejilla (L) debe ser mayor o igual que (L<sub>0</sub>), esto generalmente ocurre cuando  $V_A / \sqrt{g \cdot Y_A} \leq 4$ . Para este caso el valor de L no limita la capacidad de la rejilla.

<sup>17</sup> JOHNS HOPKINS UNIVERSITY, The Design of Stormwater inlets. Report of the Storm Drainage Community, (1956)

<sup>21</sup> HIDROESTUDIOS LTDA, Ingenieros Consultores, Informe No. 032-GA-91, Alcantarillado maestro diseño de sumideros, 1979

<sup>33</sup> STEPHENSON, D, Stormwater Hydrology and Drainage, Developments in Water Science, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam-Oxford-New York, (1981)

**Figura 1.2 Valores de Y y X definidos por las ecuaciones de caída libre**



Tomado de STEPHENSON, D, Stormwater Hydrology and Drainage, Developments in Water Science, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam-Oxford-New York, (1981)

Un sumidero transversal trabaja como una estructura la cual sus rejillas pueden captar todo el caudal circulante en la calle; en sí un sumidero transversal es un sumidero de rejillas pero en este caso no se determina la longitud total para captar todo el caudal ( $L_O$ ), sino que se determina el ancho que deben tener a rejillas ( $B$ ), para que con un longitud de rejilla ( $L$ ) siendo constante pueda captar todo el caudal. Ahora si se deja la *ecuación 1.7* en función del caudal total de aproximación ( $Q_A$ ), de la profundidad de aproximación ( $Y_A$ ) y despejando el ancho se obtiene la *ecuación 1.8*.

$$B = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_A^2}{g \cdot L^2 \cdot Y_A}} \quad (\text{Ecuación 1.8})$$

### **1.3. PROBLEMAS CON LA METODOLOGÍA ACTUAL DE LA CDMB PARA EL DISEÑO DE SUMIDEROS**

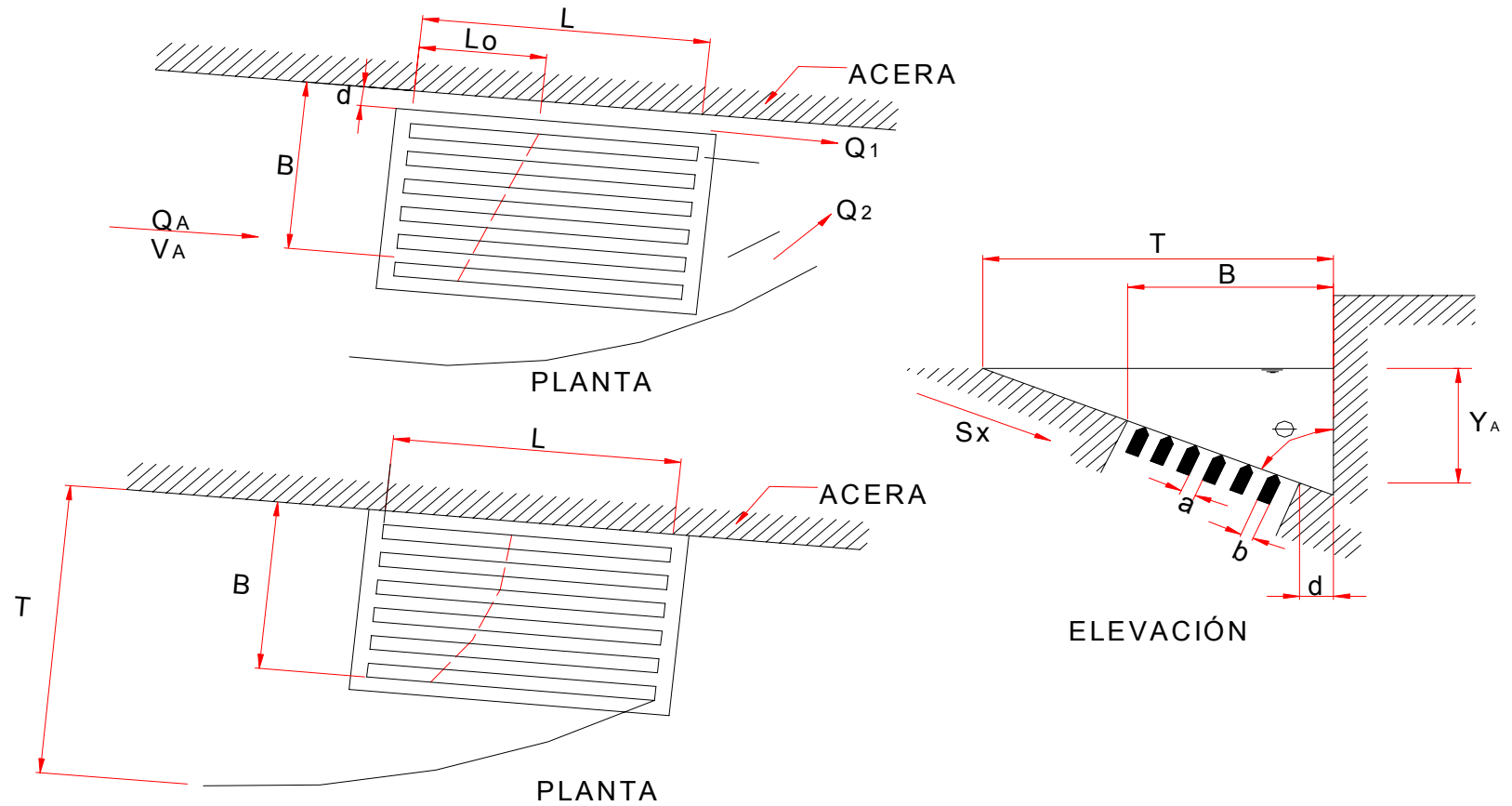
**1.3.1 Modificación de las estructuras originales** Con el transcurso de los años se han modificado las estructuras de los sumideros laterales, lo cual hace que se afecte considerablemente la eficiencia de captación de estos debido a que se están utilizando las mismas curvas que fueron diseñadas para sumideros de ciertas características, en sumideros con características totalmente diferentes.

<sup>7</sup> BOLINAGA J.J, Drenaje Urbano, Instituto Nacional de Obras Sanitarias de Venezuela, (1979)

<sup>17</sup> JOHNS HOPKINS UNIVERSITY, The Design of Stormwater inlets. Report of the Storm Drainage Community, (1956)

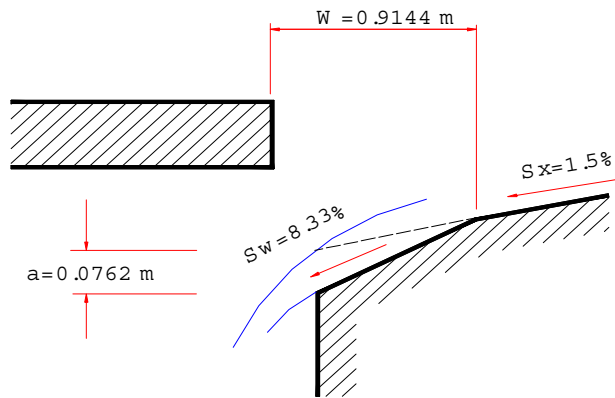
<sup>21</sup> HIDROESTUDIOS LTDA, Ingenieros Consultores, Informe N<sup>o</sup>. 032-GA-91, Alcantarillado maestro diseño de sumideros, 1979

**Figura 1.3 Sumidero de rejillas con barras longitudinales con pendiente transversal Uniforme**

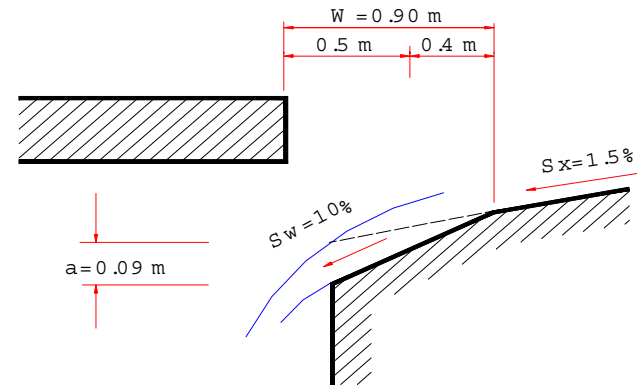


Tomado de BOLINAGA J.J, Drenaje Urbano, Instituto Nacional de Obras Sanitarias de Venezuela, (1979)

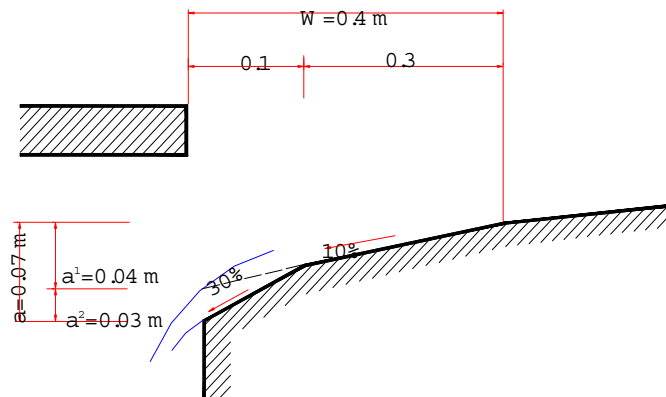
**Figura 1.4 Valor de (W) y (a) Estudio original (Hidroestudios, 1979)**



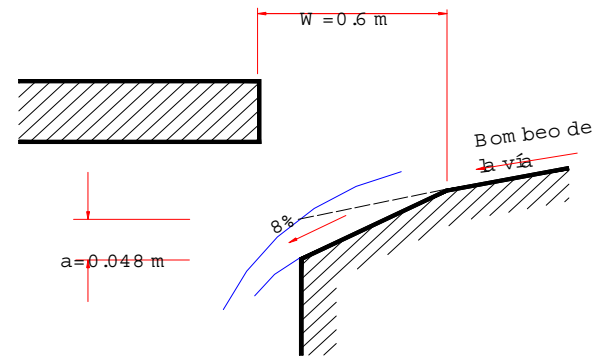
**Figura 1.5 Valor de (W) y (a) Plano Típico (Hidroestudios, 1979)**



**Figura 1.6 Valor de (W) y (a) Normas Técnicas para Diseño y Presentación de proyectos de Alcantarillado CDMB (1994)**



**Figura 1.7 Valor de (W) y (a) Modificación CDMB (1998) Normas Técnicas para Diseño y Presentación de proyectos de Alcantarillado CDMB (2000)**



Las ecuaciones de **Jhons Hopkins University**<sup>17</sup>, las cuales fueron tomadas como base por Hidroestudios<sup>21</sup>, están en función del tragante (B) y de la altura de la depresión (a), lo cual indica que cualquier cambio en ellos haga necesario a su vez un cambio en las curvas de diseño.

En el estudio original de Hidroestudios<sup>21</sup> se proponía un tragante (W) de tres pies (3') y un valor de (a) de tres pulgadas (3"), o lo que es equivalente en metros (W) de 0.9144 metros y (a) de 0.0762 metros, como se ilustra en la *Figura 1.4*.

A continuación se presenta algunas modificaciones que la CDMB ha hecho en las estructuras originales de los sumideros laterales, Hidroestudios (1979). (*Ver figura 1.4*).

La primera modificación a la estructura de los sumideros laterales fue realizada por Hidroestudios en el año de 1979, cuando se anexaron los planos correspondientes a los sumideros laterales. Aquí se modifica el ancho del tragante (B) del diseño original de 0.9144 metros a 0.90 metros, la pendiente de la depresión adyacente al sumidero de 8.33% al 10% y la altura de la depresión (a) de 0.0762 metros a 0.09 metros. El plano original de Hidroestudios se presenta en la *figuras 2, 3, 4 del anexo 1*. La *figura 1.5* presenta un perfil de la modificación.

La segunda modificación se hizo en el año 1994, debido que se reciben ciertas quejas debido al gran tamaño del tragante (B), por esta razón se decide realizar un cambio a las características de los sumideros. Se disminuye el tragante de 0.9 metros que fue siempre se construyó a 0.4 metros y se deja un tragante compuesto de 2 zonas con pendiente diferente. Una primera zona con longitud de 10 cm la cual tenía una pendiente de 30% y una segunda zona con longitud de 30 cm la cual tenía una pendiente de 10%. Se presenta una altura total de depresión (a) de 0.07 metros la cual se compone de la suma de las dos depresiones, una de 0.03 metros y la otra de 0.04 metros. La forma del tragante se puede apreciar en la *figura 1.6*.

La tercera y última modificación se hizo en el año de 1998 y es la cual esta vigente actualmente, la cual se incluye en la actualización de las "*Normas técnicas para diseño y presentación de proyectos de alcantarillado*". Aquí se pasó de estas dos depresiones de diferente pendiente y de un ancho de tragante (B) de 0.4 metros a uno de 0.6 metros, con una pendiente en la depresión del 8% y altura de esta de 0.048 metros. La forma del tragante se puede apreciar en la *figura 1.7*.

**1.3.2 Suposiciones acerca del comportamiento de las estructuras para pendientes iguales y superiores al 5 %** Hidroestudios para el diseño de sumideros laterales extrajo unas curvas del libro del **Bureau of Public**

**Roads**<sup>22</sup>; estas curvas eran para pendientes longitudinales de la vía de 0.5%, 1%, 2%, 3% y 4%. Debido a la topografía de la ciudad se necesitaba diseñar sumideros laterales en pendientes longitudinales superiores a las antes mencionadas, para esto Hidroestudios determinó una serie de puntos o valores de estas curvas, los cuales utilizó para extrapolarlos y de esa manera determinar curvas de diseño de sumideros laterales para pendientes del 5%, 6%, 7%, 8%, 9% y 10%.

Las curvas extrapoladas por Hidroestudios se pueden apreciar en la *figura 22 del anexo 1*, y las funciones de estas curvas en las *ecuaciones 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5 y 1.6*.

Las cuales se muestran a continuación en la *Figura 9 Anexo 1* y se expresan en las *Ecuaciones 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6*.

<i>Pendiente 5 %</i>	$L = - 0.0001*Q^2 + 0.0766*Q + 0.2953$	<i>(Ecuación 1.1)</i>
<i>Pendiente 6 %</i>	$L = - 0.0001*Q^2 + 0.0788*Q + 0.2998$	<i>(Ecuación 1.2)</i>
<i>Pendiente 7 %</i>	$L = -0.0001*Q^2 + 0.0807*Q + 0.3036$	<i>(Ecuación 1.3)</i>
<i>Pendiente 8 %</i>	$L = - 0.0001*Q^2 + 0.08230*Q + 0.3069$	<i>(Ecuación 1.4)</i>
<i>Pendiente 9 %</i>	$L = - 0.0001*Q^2 + 0.0837*Q + 0.3098$	<i>(Ecuación 1.5)</i>
<i>Pendiente 10%</i>	$L = - 0.0001*Q^2 + 0.085*Q + 0.3124$	<i>(Ecuación 1.6)</i>

En donde Q es el caudal por captar, en litros por segundo y L la longitud requerida de sumidero en metros.

Las curvas de diseño de sumideros laterales mostradas en el libro del **Bureau of Public Roads**<sup>22</sup>, las cuales utilizó Hidroestudios para determinar las ecuaciones 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6 tienen como base la *ecuación 1.1*, propuesta en el año 1956 por **Jhons Hopkins University**<sup>17</sup>. De esta ecuación se puede apreciar que el valor de L no varía como función cuadrática del caudal, pues dicho valor se presenta en la *ecuación 1.1* como parte de un exponente y como parte de un producto.

**1.3.3 Uso de las curvas para sumideros laterales y transversales ubicados en puntos bajos** Hidroestudios<sup>21</sup> propone para captación en puntos bajos o “Batea”, el uso de una batería de sumideros, que no es más que la combinación de dos sumideros laterales y uno transversal. Para el dimensionamiento de esta recomiendan utilizar las *figuras 7 y 8 del anexo 1*, de las cuales mencionan que proporcionan la información necesaria para determinar la longitud necesaria de la combinación de estos sumideros.

<sup>17</sup> JOHNS HOPKINS UNIVERSITY, The Design of Stormwater inlets. Report of the Storm Drainage Community, (1956)

<sup>21</sup> HIDROESTUDIOS LTDA, Ingenieros Consultores, Informe No. 032-GA-91, Alcantarillado maestro diseño de sumideros, 1979

<sup>22</sup> BUREAU OF PUBLIC ROADS, Drainage of Highway Pavements, Hydraulic Engineering Circular N° 12, Washington, 1969

La FHWA<sup>5</sup> muestra que el comportamiento hidráulico de los sumideros tanto laterales como de rejillas es diferente cuando estos se encuentran en puntos bajos, pues estos en estas condiciones topográficas operan como vertederos para caudales pequeños y como orificios para caudales grandes, razón por la cual se considera que la estimación de hidroestudios puede no ser correcta.

**1.3.4 Uso de las curvas de Diseño para todo tipo de pendientes transversales de calzada** Las curvas diseñadas por Hidroestudios<sup>21</sup> solo contemplan valores de pendiente transversal de 1.5%, lo cual las hace ineficientes, para calles donde el bombeo es superior o inferior a este valor, razón por la cual se debería considerar nuevas curvas para valores diferentes a este.

**1.3.5 Falta de suposiciones debido al transporte de sedimentos y basuras** Las curvas diseñadas por Hidroestudios<sup>21</sup> carecen de suposiciones debido a la obstrucción por sedimentos y basuras, se supone que toda la lluvia que se convierte en escorrentía entra a los sumideros en los puntos previstos. Es evidente que el problema del transporte de sedimentos debe ser considerado en el diseño de sumideros tanto laterales como transversales.

**1.3.6. Falta de parámetros de localización** En Bucaramanga no se poseen unos parámetros de localización de sumideros establecidos, lo que genera que se incurra a errores en su localización. Los sumideros en Bucaramanga son ubicados más que todos basados en el criterio que puedan tener constructores e interventores y estos a veces no analizan el esquema geométrico de la calle colocando los sumideros en contrabombeo o en condiciones donde la eficiencia de captación de los sumideros se va a ver afectada considerablemente como lugares donde existen árboles cercanos con predominio de raíces superficiales y hojas.

Es importante establecer ciertos parámetros de localización para evitar los posibles errores de localización de los sumideros.

<sup>5</sup> FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, (FHWA), Urban Drainage Design Manual, HEC 22, 1996

<sup>21</sup> HIDROESTUDIOS LTDA, Ingenieros Consultores, Informe No. 032-GA-91, Alcantarillado maestro diseño de sumideros, 1979

## **2. OBJETIVOS GENERALES Y ESPECIFICOS**

### **2.1 OBJETIVOS GENERALES**

- Establecer conciencia de la importancia de los sumideros dentro de un sistema de alcantarillado pluvial.
- Evaluar la metodología actual de diseño de sumideros utilizada en la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Estudiar los factores hidrológicos que inciden en el diseño de sumideros en alcantarillados pluviales.
- Estudiar los factores hidráulicos que intervienen en el proceso de recolección de agua en un sumidero.
- Recopilar información de diseño de los diferentes tipos de sumideros existentes en la literatura.
- Evaluar la metodología de diseño utilizada en la CDMB para el diseño de sumideros.
- Evaluar los tipos de sumideros comúnmente utilizados en Bucaramanga y proponer la posible utilización de nuevos tipos de sumideros.
- Definir la metodología de diseño para los nuevos tipos de sumideros seleccionados.

### 3. FUNDAMENTOS EN EL DISEÑO DE SUMIDEROS

El diseño de sumideros está condicionado principalmente por características urbanísticas y viales, por tal razón no puede hablarse de que el diseño de sumideros sea un proyecto netamente hidráulico.

La hidrología juega un papel muy importante en el diseño de sumideros, la cual debe ser influenciada por los posibles cambios debido al proceso de urbanización que pueda tener la ciudad, esto basado en los planes de ordenamiento territorial de cada región. A nivel hidráulico, el uso de cunetas, de pendientes transversales, de pendientes longitudinales, las cuales produzcan el desplazamiento del agua a las zonas pronosticadas, así como una localización adecuada de los sumideros, sumada a un buen mantenimiento de las vías como de estos, inciden considerablemente en la eficiencia de las obras de drenaje diseñadas.

Es importante mencionar que un funcionamiento eficiente de los sumideros implica un ahorro apreciable en el drenaje secundario, de cualquier proyecto de alcantarillado.

#### 3.1 ASPECTOS HIDROLOGICOS

Para determinar el caudal que va a entrar a los sumideros, para así establecer que sumidero es el conveniente y que dimensiones va a tener éste, es necesario contar con los métodos hidrológicos que establezcan relaciones lluvia-escorrentía, los cuales nos permitan determinar la escorrentía máxima en una cuenca o área de drenaje, mediante las características de ésta, la precipitación y un periodo de retorno o de recurrencia establecido.

Las características de un área de drenaje se pueden percibir a través de planos topográficos (curvas de nivel), uso y tipo de suelo y las características de la precipitación a través de curvas de Intensidad-Frecuencia-Duración.

Los parámetros más importantes que intervienen en el proceso de lluvia-escorrentía son:

- Área de la cuenca o área de drenaje.
- Altura total de precipitación.
- Características generales o promedio de un área de drenaje (forma, pendiente, tipo de suelo, uso del suelo).
- Distribución de la lluvia en el tiempo.
- Distribución en el espacio de la lluvia y características del área de drenaje.

**3.1.1. Área de drenaje (A)** El área de drenaje se define como la superficie, en proyección horizontal, delimitada por el parte aguas, el cual es una línea

imaginaria formada por los puntos de mayor nivel topográfico. El área de drenaje puede ser determinado por medio de planos topográficos. La extensión y el tipo de áreas tributarias deben determinarse para cada tramo que se va a diseñar. El área aferente debe incluir el área tributaria de cada tramo en consideración.

**3.1.2 Intensidad de la lluvia** Aunque la intensidad de la precipitación varía de evento a evento, muchos de los procedimientos usados para derivar caudal máximo se basan en una intensidad constante asumida de precipitación, la cual se define como el índice de la precipitación y se da típicamente en unidades de intensidad, milímetros por la hora. La Intensidad de la lluvia es la intensidad promedio que se asume cae uniformemente sobre una cuenca para una duración y frecuencia (periodo de retorno) dadas. La curvas de Intensidad-Frecuencia-Duración proporcionan un resumen de las características de la precipitación de un sitio relacionando, la duración y la probabilidad de excedencia de un evento. La Intensidad de la lluvia suele cambiar con la localización, la topografía así como con la duración y la frecuencia. La intensidad de la lluvia se puede determinar con curvas Intensidad-Frecuencia-Duración (I-F-D) de una zona determinada o zona de influencia del proyecto, si no se cuenta con curvas de I-F-D es importante determinar métodos para obtener la intensidad.

En la *figura 1 anexo 3*, se muestra las curvas de Intensidad-Frecuencia-Duración mostradas por CDMB<sup>3</sup> ) para el área metropolitana de Bucaramanga. En donde se expresa la intensidad en litros por segundo por hectárea (lps/Ha) y la duración en minutos.

**3.1.3 Tiempo de concentración (T<sub>c</sub>)** El Tiempo de Concentración se define como el tiempo que transcurre entre el inicio de la lluvia hasta que se establezca un punto de equilibrio entre el volumen de lluvia que entra a la cuenca por unidad de tiempo y el caudal convertido en escorrentía que sale de la cuenca.

La Norma ACODAL RAS-2000<sup>2</sup> define el tiempo de concentración para el diseño de sumideros como un tiempo compuesto por la suma del tiempo de entrada y el tiempo de recorrido del colector.

Donde el tiempo de entrada (*T<sub>e</sub>*) corresponde al tiempo requerido para que la escorrentía llegue al sumidero y el tiempo de recorrido (*T<sub>t</sub>*) es el tiempo de viaje del agua dentro del colector. (*Ver ecuación 3.1*)

$$T_C = T_e + T_t \quad (\text{Ecuación 3.1})$$

**3.1.3.1 Tiempo de entrada** Hay varias formulas para determinar el tiempo de entrada o tiempo de concentración inicial (*T<sub>e</sub>*) en minutos, dichas formulas se presentan en la *tabla 3.1, ecuaciones 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6.*

La CDMB<sup>3</sup> establece un Tiempo de concentración mínimo para tramos iniciales de alcantarillado de 8 minutos.

**3.1.3.2 Tiempo de Recorrido** La **Federal Highway Administration** (FHWA)<sup>5</sup>, propone para estimar el tiempo de recorrido en el colector utilizar la ecuación de Manning (ecuación 3.7), para determinar la velocidad y luego reemplazarla en la ecuación de recorrido (ecuación 3.8)

$$V = \frac{R^{2/3} * S^{1/2}}{n} \quad (\text{Ecuación 3.7})$$

Donde:

n = Coeficiente de rugosidad de Manning (Ver tabla 6 anexo 3)

V = Velocidad en (m/s)

R = Radio Hidráulico definido como (Área/ Perímetro mojado), (m), los elementos geométricos de un canal circular se pueden ver en la figura 4 del anexo 2.

S = Pendiente, (m/m)

Para conductos circulares a Flujo lleno el Radio Hidráulico es ¼ del Diámetro.

Para canales rectangulares con un ancho (w > 10D) el radio Hidráulico (R) es aproximadamente igual a la profundidad.

$$T_t = \frac{L}{(60 * V)} \quad (\text{Ecuación 3.8})$$

Donde:

T<sub>t</sub> = Tiempo de viaje para un segmento, (min)

L = Longitud del tramo, (m)

V = Velocidad en el tramo, (m/s)

**3.1.4 Escorrentía** La escorrentía se define como el agua proveniente de la precipitación que llega a la superficie terrestre una vez que una parte ha sido interceptada y evaporada. Su valor se obtiene de restar del volumen de lluvia las pérdidas por infiltración, almacenamiento, evaporación y transpiración.

<sup>2</sup> RAS-2000, Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, Sección II, Título D, Sistemas de recolección de aguas Residuales Domesticas y Pluviales, Ministerio de Desarrollo Económico sección de agua Potable (2000)

<sup>3</sup> CDMB, Normas Técnicas para diseño y presentación de proyectos de Alcantarillado, Convenio Sena\_Camacol, 2000

<sup>5</sup> Federal Highway Administration (FHWA), Urban Drainage Design Manual, HEC 22, 1996

**Tabla 3.1 Fórmulas comunes para estimar el tiempo de concentración (Tc)**

<p style="text-align: center;"><b>Fórmula de Kirpich</b></p> $T_e = 0.0195 * \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \text{ (Ecuación 3.2)}$ <p>Donde:  L = longitud del canal desde aguas arriba hasta el punto donde el agua entra al sumidero (m)  S = Pendiente promedio de la cuenca en (m/m) obtenida por Taylor y Schwarz Los cuales proponen calcular la pendiente media como la de un canal de sección uniforme que tenga la misma longitud y el mismo tiempo de recorrido de la corriente.</p> $S = \left[ \frac{L_T}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{\sqrt{S_i}}} \right]^2$ <p>L<sub>T</sub> = Longitud total del cauce principal  L<sub>i</sub> = Longitud en que se divide el cauce principal  S<sub>i</sub> = Pendiente en cada unos de los tramos en que subdivide la longitud del cauce principal.  Aunque esta ecuación fue desarrollada para cuencas rurales para flujo superficial en superficies de concreto o asfalto se recomienda multiplicar este tiempo por 0.4, para canales de concreto por 0.3 y para flujo superficial en suelo descubierto o cunetas no se debe hacer ningún ajuste.</p>	<p style="text-align: center;"><b>Fórmula de Izzard</b></p> $T_e = \frac{41.025 * (0.0007 * i + c) * L^{1/3}}{S^{1/3} * i^{2/3}} \text{ (Ecuación 3.3)}$ <p>Donde:  I = Intensidad de la lluvia (pul/hora)  c = Coeficiente de retardo  L = Longitud del flujo de la trayectoria en pies  S = Pendiente del flujo de la trayectoria en (pie/pie)  Los valores de coeficiente de retardo varían desde 0.007 para pavimentos muy lisos hasta 0.012 para pavimentos en concreto, 0.06 superficies densamente cubiertas de pasto. La solución de esta ecuación requiere procesos iterativos, el producto de i por L debe ser menor de 500.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Fórmula de la Federal Aviación Administration (FAA)</b></p> $T_e = \frac{3.27847 * (1.1 - C) * L^{0.5}}{S^{1/3}} \text{ (Ecuación 3.6)}$ <p>Donde:  L = Longitud del flujo superficial en metros (m)  C = Coeficiente de escorrentía del método racional  S = Pendiente de la superficie en %  Esta ecuación fue utilizada en el drenaje de aeropuertos pero hoy en día es muy utilizada en cuencas urbanas.</p>	<p style="text-align: center;"><b>Fórmula de Soil Conservation Service (SCS)</b> La <b>soil Conservation Service</b> propone estimar el Te con base en la velocidad media de la escorrentía superficial sobre el área de drenaje y la distancia de recorrido.</p> $T_e = \frac{L}{(60 * V_s)} \text{ (Ecuación 3.4)}$ <p>V<sub>s</sub> = Velocidad media de la escorrentía superficial (m/s), la cual puede aproximarse por la <i>ecuación 2.11</i>.  L = Longitud de recorrido del agua hasta la entrada al sumidero (m)</p> $V_s = a * S^{1/2} \text{ (Ecuación 3.5)}$ <p>En donde (a) es una constante del tipo de superficie, la RAS-2000<sup>2</sup> muestra algunos valores de a, los cuales se exponen en la (Tabla 1 Anexo 3).</p>

**3.1.4.1 Coeficiente de escorrentía** Gavilán<sup>4</sup> define el coeficiente de escorrentía (C), como la relación máxima entre la máxima rata a la cual fluye hacia afuera de la cuenca para una tormenta dada y la rata de volumen promedio a la cual cae la lluvia sobre la cuenca durante la duración de la tormenta.

El coeficiente de escorrentía esta definido como función del tipo de suelo, la permeabilidad de la zona, la pendiente del terreno y otros factores que determinan la fracción de precipitación que se convierte en escorrentía.

La Norma ACODAL RAS-2000<sup>2</sup> menciona que en la determinación de este valor debe tenerse en cuenta las perdidas por infiltración en el suelo y otros efectos retardadores de escorrentía, además expresa que se deben incluir consideraciones sobre el desarrollo urbano, los planes de ordenamiento territorial y las disposiciones locales sobre el uso del suelo.

El valor del coeficiente (C) debe ser estimado tanto para la situación inicial como para futuro, al final del periodo de diseño. Para áreas que posean subáreas con coeficientes de escorrentía diferentes, el valor de (C) debe calcularse como la sumatoria de los coeficientes de escorrentía representativos de cada área multiplicada por el valor de ésta, dividido entre la sumatoria de áreas o lo que es igual el área total de la zona. (Ver ecuación 3.9)

$$C = \frac{\left( \sum C_i * A_i \right)}{\sum A_i} \quad (\text{Ecuación 3.9})$$

La norma ACODAL RAS-2000<sup>2</sup> presenta unos valores de (C) dependiendo del tipo de suelo donde se esté trabajando, los cuales se muestran en la (tabla 3 anexo 3). La CDMB<sup>3</sup> muestra unos coeficientes de escorrentía utilizados para el Área Metropolitana de Bucaramanga mostrados en la (tabla 4 anexo 3)

**3.1.4.2 Tipo de suelo** Gavilán<sup>4</sup> señala que la cobertura vegetal cumple una función reguladora en el ciclo hidrológico.

Las gotas de lluvia son retenidas por el follaje de los árboles y son soltadas poco a poco, demorando la acumulación de agua disponible de escorrentía. Un bosque denso retrasa varias horas la ocurrencia de las avenidas y hace que la intensidad de estas sea menor. El tipo de suelo favorece o disminuye la formación de escorrentía, a mayor cobertura vegetal menor será la porción de lluvia que se convierte en escorrentía.

<sup>2</sup> RAS-2000, Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, Sección II, Título D, Sistemas de recolección de aguas Residuales Domesticas y Pluviales, Ministerio de Desarrollo Económico sección de agua Potable (2000)

<sup>3</sup> CDMB, Normas Técnicas para diseño y presentación de proyectos de Alcantarillado, Convenio Sena\_Camacol, 2000

<sup>4</sup> GAVILÁN LEÓN, Germán Eduardo, Manual de Diseño de Drenajes Superficiales y Subsuperficiales en vías, 2001

La **Texas Department of Transportation**<sup>6</sup> muestra una clasificación hecha por la **U.S. Department of Agriculture and Natural Resources Conservation Service** (NRCS), la cual divide los suelos en cuatro grupos hidrológicos denominados por las letras A, B, C, D y basados en sus tasas de infiltración. La clasificación se muestra en la *tabla 5 del anexo 3*.

La **Texas Department of Transportation**<sup>6</sup> recomienda considerar los efectos de urbanización Futura y establecer en la selección de los grupos hidrológicos los posibles cambios que la región en estudio tendrá, debido a que la Urbanización puede traer consigo equipos pesados de compactación que modifiquen la estructura del suelo, superficial como subsuperficialmente.

**3.1.4.3 Uso del suelo** El uso que del suelo influye en la determinación de la escorrentía, pues dependiendo del tipo de construcción a elaborar en dicho suelo, se puede aumentar o disminuir la escorrentía, por ejemplo si el uso que se le va a dar al suelo es para un parque recreacional con predominio de jardines, es lógico pensar que el coeficiente de escorrentía sería menor que si se construyera un conjunto de apartamentos con predominio de zonas duras, pues en el parque recreacional, se favorece la infiltración en cambio en el conjunto de apartamentos la mayoría del agua lluvia se convierte en escorrentía.

**3.1.5 Métodos para determinar la porción de lluvia que se convierte en escorrentía** Los métodos de cálculo de escorrentía se clasifican en dos tipos: los que calculan directamente la escorrentía directa volumen por unidad de tiempo) y los que calculan el volumen de escorrentía (escorrentía efectiva).

A continuación se presentan dos métodos hidrológicos para estudiar la relación lluvia-escorrentía, los cuales son:

- El método Racional (Escorrentía directa)
- El método de la **U.S. Soil Conservation Service** (Dos fases una para el cálculo de la escorrentía efectiva y otra para el cálculo de la escorrentía directa).

**3.1.5.1 El método Racional** Eliasson<sup>36</sup> menciona que la fórmula del método racional es usualmente acreditada a Kuichling y data del año 1889. Es el método más antiguo y más popular que establece una relación lluvia-escorrentía aunque es muy utilizado actualmente en el diseño de drenajes urbanos.

<sup>6</sup> TEXAS DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, Hydraulics and Design Manual, 2002

El método racional se basa en la siguiente premisa:

*Supóngase que se tiene una zona o superficie impermeable a la cual se le hace caer uniformemente, lluvia a una rata constante, durante un periodo de tiempo largo.* Lo que se busca con esta premisa es encontrar un punto de equilibrio en donde el volumen que entra por unidad de tiempo en una cuenca sea igual al caudal de escorrentía que sale del mismo.

La ecuación del método racional es expresada en la *ecuación 3.10*.

$$Q = C * I * A \quad (\text{Ecuación 3.10})$$

Donde:

Q = Caudal máximo estimado en un sitio determinado en litros por segundo para un periodo de retorno (Tr) en años.

C = Coeficiente de escorrentía (Adimensional) para un periodo de retorno Tr en años.

I = Intensidad de la lluvia en litros por segundo por hectárea (lps/ha), para una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca (Tc) y para una Frecuencia (F) o Periodo de retorno (Tr) en años

A = Área de drenaje en hectáreas.

\* **Suposiciones y limitaciones del método racional** Bolinaga<sup>7</sup> enuncia las principales limitaciones del método racional entre las que se encuentran:

1) La lluvia es uniforme en el tiempo; es decir, su intensidad es constante, lo cual, en la practica, es solo verdad para duraciones muy cortas.

2) La lluvia es uniforme en el espacio, es decir tiene la misma intensidad al mismo tiempo sobre toda el área tributaria. Esto es prácticamente válido para áreas muy pequeñas.

3) Ignora el efecto de almacenamiento o retención temporal en las superficies, conductos, cauces, etc., el cual es mayor mientras menos sea impermeable el área.

4) El coeficiente de escorrentía es constante, lo cual es solo cierto para áreas impermeables.

5) Supone que el gasto calculado tiene la misma frecuencia de la precipitación, lo cual es más cierto en áreas impermeables, donde las condiciones prevista de humedad del subsuelo no influyen significativamente en la escorrentía.

<sup>36</sup> ELIANSSON, Jonas, Estimation of design floods on basis of M5 values, University of Iceland, 2002

Bolinaga<sup>7</sup> expresa que las limitaciones anteriores llevan a la conclusión de que la fórmula racional puede arrojar resultados aceptables sólo si el área es pequeña y tiene un alto porcentaje de impermeabilidad, y además el tiempo de concentración es corto. De allí que no se recomiende su aplicación para superficies mayores de 20 ha, 80% urbanizadas y tiempos de concentración superiores a 15 minutos. Cuando estas recomendaciones no se observan el método racional tiende a dar valores mayores que los que se observen.

**3.1.5.2 Método de la curva número de escorrentía (NCRS)** Esta metodología calcula el volumen de escorrentía a partir de una lluvia de diseño. Por lo tanto se requiere de un proceso posterior para el cálculo de la escorrentía directa, para esto se debe utilizar el método de la SCS del hidrograma unitario.

El método de la curva numero (SCS) de escorrentía fue desarrollado por el **U.S. Department of Agriculture and Natural Resources Conservation Service (NRCS)**, conocido comúnmente como **Soil Conservation Service (SCS)**.

Este método para la estimación de escorrentía, requiere básicamente datos similares a los del método racional como son área de drenaje, el potencial de almacenamiento de la cuenca, y el tiempo de concentración, pero este método tiene en cuenta adicionalmente las siguientes consideraciones : Distribución en el tiempo de la lluvia, pérdidas iniciales de la lluvia, por la intersección y por el almacenamiento del agua en las depresiones y una rata de infiltración que decrece en el transcurso de la tormenta.

El método de la (SCS), calcula la escorrentía para una tormenta, restando la infiltración y otras pérdidas de la precipitación total.

Gavilán<sup>4</sup> menciona que el método de la curva de los números de escorrentía es un criterio para determinar las abstracciones (volumen de agua lluvia que no se convierte en escorrentía) y por consiguiente la precipitación efectiva en función de la precipitación total. El método usa una combinación de condiciones como el, uso del suelo, en zonas tanto rurales como urbanas, pendiente y estado inicial de humedad; esta combinación es conocida como los números de curva para el cálculo de escorrentía (RCN), (**Runoff Curve Numbers**).

La relación fundamental en que se basa el método es:

$$\frac{F}{S} = \frac{P_e}{P_{\max}} \quad (\text{Ecuación 3.11})$$

<sup>7</sup> BOLINAGA J.J, Drenaje Urbano, Instituto Nacional de Obras Sanitarias de Venezuela, (1979)

Donde:

F = Infiltración real

S = Retención potencial máxima

$P_e$  = volumen de escorrentía real

$P_{max}$  = Escorrentía potencial o exceso de precipitación

Esta relación tiene validez a partir del momento en que se inicia la escorrentía. La lluvia cae antes de que se inicie la escorrentía, se toma como pérdida debido a que no contribuye al flujo superficial.

Las pérdidas iniciales de la precipitación se denominan abstracciones iniciales, las cuales se calculan con la siguiente relación empírica:

$$I_a = 0.2 * S \quad (\text{Ecuación 3.12})$$

Se tiene entonces que:

$$P_e = P - I_a \quad (\text{Ecuación 3.13})$$

$$F = P - P_e \quad (\text{Ecuación 3.14})$$

Sustituyendo en la relación inicial y despejando el valor de Q se obtiene la expresión:

$$P_e = \frac{(P - 0.2 * S)^2}{P + 0.8 * S} \quad (\text{Ecuación 3.15})$$

La ecuación 3.16 se utiliza para determinar, el valor de S (Retención Potencial máxima), representado en un parámetro denominado curva de números de escorrentía (RCN).

$$S = z \cdot \left( \frac{100}{RCN} - 1 \right) \quad (\text{Ecuación 3.16})$$

Donde:

S = Retención Potencial máxima

z = Es un factor el cual es 10 para unidades inglesas y 254 para unidades métricas

RCN = Curva de números de Escorrentía

Si se trabaja la Ecuación 2.24 en unidades métricas se obtiene, la Ecuación 3.17.

$$S = \frac{25400}{RCN} - 254 \quad (\text{Ecuación 3.17})$$

En donde S esta en mm.

<sup>4</sup> GAVILÁN LEÓN, Germán Eduardo, Manual de Diseño de Drenajes Superficiales y Subsuperficiales en vías, 2001

Números de curva para el cálculo de escorrentía (RCN) Las pérdidas por infiltración en la precipitación dependen sobre todo de las características y de la utilización del suelo (cobertura superficial) del suelo. El método de NRCS utiliza una combinación de condiciones del suelo y uso del mismo, para asignar factores de escorrentía llamados números de curva de escorrentía. Éstos representan la escorrentía superficial de un área. Cuanto más alto es el RCN, más alto es el potencial de escorrentía. Las *tablas 6, 7 del anexo 3* proporcionan una lista extensa de números de curva de escorrentía, para una condición de humedad antecedente normal (RCN II), para cuencas rurales y urbanas.

En caso de condiciones antecedentes de lluvia (RCN III) o sequía (RCN I) es necesario ajustar el valor de (RCN II). Se debe utilizar un período de cinco días para estimar las condiciones antecedentes de la humedad del suelo. Dichas condiciones también varían durante una tormenta, la fuertes lluvias que caen en el suelo seco puede cambiar la condición de humedad antecedente del suelo de seco a un promedio entre seco y mojado durante el período de la tormenta. En la *tabla 8 del anexo 3* se presentan las formulas para el ajuste de condiciones de humedad antecedente del suelo, según las condiciones previstas, ya sea para condiciones de humedad antecedente de sequía (RCN I) o para condiciones de humedad antecedente de lluvia (RCN III). Para la determinación de la condición de humedad antecedente se utiliza la *tabla 9 del anexo 3*, teniendo en cuenta la precipitación acumulada ocurrida durante los últimos días.

El hidrograma triangular es una representación práctica de la lluvia efectiva escorrentía (*Ver figura 3.2*) y matemáticamente se expresa en la *ecuación 3.18*. La cual expresa la tasa de caudal pico debido al incremento de escorrentía.

$$Q_p = \frac{2 * P_e * A}{T_b} \text{ (Ecuación 3.18)}$$

Donde:

$Q_p$  = caudal pico

$P_e$  = Precipitación efectiva calculada con la ecuación 3.15

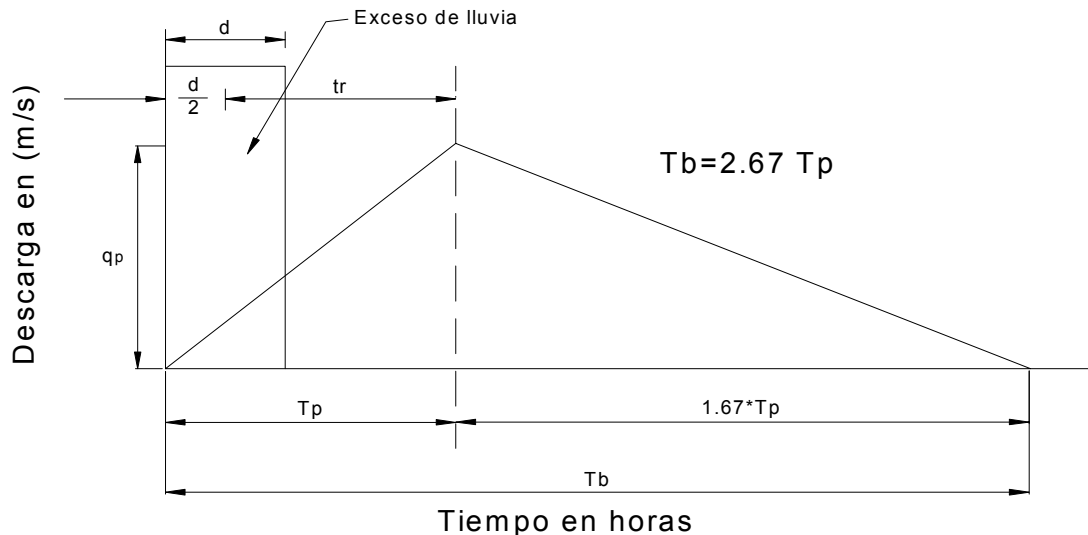
$A$  = área de drenaje

$T_b$  = Tiempo base del hidrograma.

La SCS encontró que en las cuencas estudiadas el  $T_b = 2.67 T_p$ . para el cálculo de  $T_p$  se utiliza la ecuación 3.19

Adicionalmente, un estudio de los hidrogramas unitarios en de muchas cuencas rurales grandes indica que el tiempo de retardo ( $t_r$ ) es aproximadamente igual a  $0.6 * T_c$ , donde  $T_c$  es el tiempo de concentración de la lluvia y el tiempo pico  $T_p$  se puede calcular con la *ecuación 3.19*.

**Figura 3.2. Hidrograma Unitario Triangular (arreglar grafico  $T_b = 2.67 T_p$ )**



Tomado de TEXAS DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, Hydraulics and Design Manual, 2002

$$T_p = \frac{d}{2} + 0.6 \cdot T_c \quad (\text{Ecuación 3.19})$$

Donde:

$T_c$  = Tiempo de concentración.  
 $d$  = duración de la lluvia efectiva.

La NCRS ha comprobado que el coeficiente 2.67 es menor en terrenos escarpados (menor tiempo de descenso del hidrograma) y mayor en terrenos planos y pantanosos (mayor tiempo de descenso del hidrograma)

**\*Limitaciones del método del hidrograma unitario.**

- 1) El método puede resultar laborioso para áreas grandes, pues hay que diseñar un hidrograma para cada subárea.

**3.2 ASPECTOS HIDRÁULICOS**

Los sumideros son las estructuras más utilizadas para incorporar el escurrimiento superficial a los colectores, dependiendo de cómo se realiza la captación del agua, estos se clasifican en sumideros laterales, de rejilla, combinados y ranurados, los cuales tienen características específicas en cuanto a su forma, condiciones de flujo y aplicabilidad.

**3.2.1 Localización de los sumideros** La norma fundamental aplicada para la ubicación de sumideros es que estos deben colocarse cuando la capacidad de drenaje superficial es insuficiente. Bolinaga<sup>7</sup> muestra además de esta norma fundamental una serie de reglas y criterios para determinar la correcta ubicación de sumideros de las cuales podemos mencionar:

- Ubicar sumideros en puntos bajos y depresiones.
- En lugares donde se reduzca la pendiente longitudinal de las calles.
- Justo antes de puentes y terraplenes,
- Preferiblemente antes de los cruces de calles o de pasos de peatones (cebras).

Para llegar a una correcta localización final de los sumideros es importante tener en cuenta un conjunto de recomendaciones complementarias, debido a que éstas solo pueden llevarse a cabo en el momento de la construcción de los sumideros, las cuales son:

a) Analizar el esquema geométrico de cada calle, particularmente su sección transversal, de tal forma de decidir si se debe o no construir un sumidero en cada lado, o solo en el lado bajo. Dicho análisis es importante en calles repavimentadas y antiguas debido que ahí el drenaje superficial es insuficiente.

b) En las intersecciones de calles y en especial cuando deba impedirse el flujo transversal, pueden crearse pequeñas depresiones para garantizar la completa captación del agua lluvia. (*Ver figura 3 anexo 3*)

c) No se deben ubicar sumideros en lugares donde puedan interferir otros servicios públicos como electricidad y teléfonos.

d) Se deben evitar colocar los sumideros cerca de árboles ubicados en la vía debido a que estos pueden perturbar la capacidad de captación del sumidero.

La RAS-2000<sup>2</sup> además de estas recomendaciones expresa que se deben colocar sumideros en los sitios que el diseñador considere necesario, claro está con justificación correspondiente, también dice que el número de sumideros podrá ser aumentado o reducido dependiendo si el calculo de caudales justifican la decisión. Bolinaga<sup>7</sup> da varios ejemplos de la localización definitiva de sumideros los cuales se ilustran en las (*figura 4 y figura 5 anexo 3*).

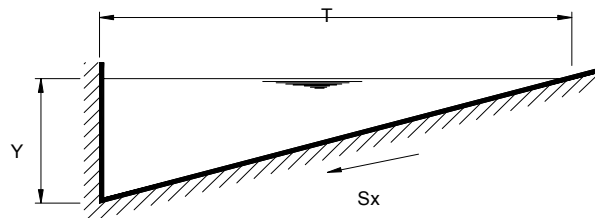
<sup>7</sup> BOLINAGA J.J, Drenaje Urbano, Instituto Nacional de Obras Sanitarias de Venezuela, (1979)

**3.2.2 Capacidad hidráulica de las calles** Cuando se diseña un sistema de drenaje superficial, es de suma importancia, estimar el nivel que alcanzó el agua que escurre por la calle, para así determinar el ancho de inundación, calcular la capacidad de captación de los sumideros y como se distribuyen estos en las intersecciones de las calles.

La hidráulica de las calles es muy similar a la de los conductos abiertos con flujo uniforme, aunque en la realidad el flujo sea no permanente, no uniforme, gradual y espacialmente variado, además con la formación de ondas en pendientes pronunciadas lo cual hace que en general se puede considerar que este tipo de flujo es extremadamente complejo. Las secciones transversales de las calles trabajan como canales de sección triangular, que pueden ser de una cara vertical y la otra inclinada (Debido a la pendiente transversal de la vía), (Ver figura 3.3). Si la sección de la calle posee cunetas el canal se convierte en una combinación entre la superficie del pavimento y la cuneta de éste las cuales pueden tener diferentes denominaciones como se puede apreciar en la figura 3.4.a. La FHWA<sup>5</sup> expresa que también se pueden utilizar secciones en forma de “V” para transportar el agua que sale del pavimento.

Por ejemplo para controlar la salida del agua en Terraplenes, pueden utilizarse pequeñas secciones en forma de “V” que tienen la capacidad necesaria para transportar el agua a un punto donde se pueda interceptar esta.

**FIGURA 3.3. Sección Triangular Formada por la superficie del pavimento**



Donde:

T = Ancho de inundación (metros)

<sup>2</sup> RAS-2000, Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, Sección II, Título D, Sistemas de recolección de aguas Residuales Domesticas y Pluviales, Ministerio de Desarrollo Económico sección de agua Potable (2000)

**3.2.2.1 Secciones convencionales del canal triangular** La capacidad Hidráulica de las calles se puede determinar por la ecuación de Manning y sus implicaciones intrínsecas (tales como el flujo uniforme a través de la sección), expresada en un a ecuación desarrollada por Izzard<sup>9</sup> el cual surgió de integrar transversalmente la ecuación de Manning; dicha ecuación se ilustra en Metcalf, Eddy<sup>25</sup> y se muestra a continuación:

$$Q = 0.377 * \frac{Z}{n} * S_y^{\frac{1}{2}} * Y^{\frac{8}{3}} \quad (\text{Ecuación 3.20})$$

Donde:

Q = Caudal total en la cuneta (m<sup>3</sup>/s)

Z = recíproco de la pendiente transversal (1/S<sub>x</sub>)

n = valor de “n” de Manning

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

Y = Profundidad del flujo en la cuneta (m)

La *ecuación 3.20* parte de una premisa la cual supone que el ancho superior (T) del canal es aproximadamente igual al Perímetro mojado (P), lo cual es una aproximación válida para canales con donde la relación profundidad/ancho del canal sea pequeña.

La FHWA<sup>5</sup> muestra que la *ecuación 3.20* es válida para canales donde el ancho (T) sea más de 40 veces el tirante en el andén. Se puede utilizar directamente reemplazando los valores en esta o indirectamente utilizando el nomograma de Izzard mostrado en la *figura 6 anexo 3*. La *ecuación 3.20* se puede dejar en función del ancho (T), como se muestra en la *ecuación 3.21*.

Sabiendo que:

$$S_x = \frac{y}{T} \Rightarrow S_x * T = y$$

La *ecuación 3.20* quedaría:

$$Q = \frac{0.377 * S_x^{\frac{5}{3}} * T^{\frac{8}{3}} * S_y^{\frac{1}{2}}}{n} \quad (\text{Ecuación 3.21})$$

Donde:

Q = Caudal total en la cuneta (m<sup>3</sup>/s)

n = valor de “n” de Manning

S<sub>y</sub> = Pendiente longitudinal de la cuneta (m/m)

S<sub>x</sub> = Pendiente transversal del canal (m/m)

T = Ancho de extensión del agua (m)

<sup>9</sup> Izzard, C.F., 1946, Hydraulics of Runoff from Developed Surfaces. Proc. Highway Research Board, Volume 26, Highway Research Board, Washington, D.C.

<sup>25</sup> METCALF-EDDY, Tratamiento y Depuración de las Aguas Residuales, Editorial LABOR, 1981

La ASCE<sup>11</sup> muestra una modificación de la *ecuación 3.20* ya que esta no reproduce exactamente la realidad, debido a que la hipótesis de una distribución uniforme de velocidades no se cumple, quedando como en la *ecuación 3.22*.

$$Q = 0.38 * \frac{Z}{n} * S_y^{\frac{1}{2}} * Y^{\frac{8}{3}} \text{ (Ecuación 3.22)}$$

**3.2.2.2 Secciones Compuestas del canal Triangular** Bolinaga<sup>7</sup> expresa que si se da el caso de una sección de la calle compuesta, es decir que esta posee una pendiente transversal mayor en las proximidades de la acera, con el objeto de concentrar más el agua e incrementar la capacidad de captación de los sumideros. La Capacidad de las calles de dicha sección se estimará aproximando la sección compuesta a una sección de pendiente constante según la *ecuación 3.23*, la cual fue extraída de la ASCE<sup>11</sup>.

$$Z_3 = Z_1 * \left[ 1 + \left( \frac{Z_2}{Z_1} - 1 \right) * \left[ \frac{T - W}{T + W * \left( \frac{Z_2}{Z_1} - 1 \right)} \right]^{\frac{8}{3}} \right] \text{ (Ecuación 3.23)}$$

Donde:

$Z_3$ = Es el recíproco de la pendiente transversal equivalente

$Z_1$ = Es el recíproco de la pendiente transversal en la cuneta

$Z_2$ = Es el recíproco de la pendiente en la superficie del pavimento

$W$ = Es el ancho en metros de la sección cuyo recíproco es  $Z_1$ .

$T$ = Ancho de Inundación

La FHWA recomienda para un canal de sección compuesta (*Ver figura 3.5*) recomienda utilizar las *ecuación 3.24*, *ecuación 3.25*, *ecuación 3.26*.

$$E_o = \frac{1}{1 - \frac{\frac{S_w}{S_x}}{\left[ 1 + \frac{\frac{S_w}{S_x}}{\frac{T}{W} - 1} \right]^{\frac{8}{3}} - 1}} \text{ (Ecuación 3.24)}$$

$$Q_w = Q - Q_s \text{ (Ecuación 3.25)}$$

$$Q = \frac{Q_s}{(1 - E_o)} \text{ (Ecuación 3.26)}$$

<sup>5</sup> FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, (FHWA), Urban Drainage Design Manual, HEC 22, 1996

<sup>11</sup> ASCE 1992, DESIGN AND CONSTRUCTION OF URBAN STORMWATER MANAGEMENT SYSTEMS, Manual of Report of Engineering Practice n. 77

Donde: (Ver figura 3.5)

$Q_w$  = Caudal en la depresión de la cuneta ( $m^3/s$ )

$Q$  = Caudal total ( $m^3/s$ )

$Q_s$  = Caudal sobre la superficie del pavimento y sobre una línea imaginaria que se extiende de la superficie del pavimento hasta el bordillo o andén ( $m^3/s$ )

$E_o$  = Relación de caudales en la extensión elegida ( $Q_w/Q$ )

$S_w = S_x + (a/W)$

**3.2.2.3 Secciones de canal sin pendiente transversal** Bolinaga<sup>7</sup> comenta que a falta de experiencias con calles de pendiente transversal nula, habría que recurrir a la ecuación de Manning expresada para un canal muy ancho y poco profundo con radio Hidráulico (R) igual a la profundidad (Y). (Ver ecuación 3.27)

$$Q = \frac{b}{n} * Y^{\frac{8}{3}} * S_0^{\frac{1}{2}} \quad (\text{Ecuación 3.27})$$

Donde:

$b$  = Ancho de la calle (m)

$n$  = Coeficiente de Rugosidad de Manning

$Y$  = Profundidad del agua (m)

$S$  = Pendiente longitudinal del canal (m/m)

### 3.2.3 Comportamiento hidráulico de los diferentes tipos de sumideros

La capacidad de captación de un sumidero ( $Q_i$ ), es el caudal interceptado por el sumidero bajo ciertas condiciones. La eficiencia de captación ( $E$ ), es el porcentaje de caudal que el sumidero captará bajo esas condiciones. La Eficiencia de captación varía con los cambios en la pendiente transversal, pendiente longitudinal, en el caudal total del canal y en menor grado en con los cambios e la rugosidad del pavimento.

La eficiencia matemáticamente se puede definir como se indica en la ecuación 3.28.

$$E = \frac{Q_i}{Q} \quad (\text{Ecuación 3.28})$$

Donde:

$E$  = Eficiencia de entrada

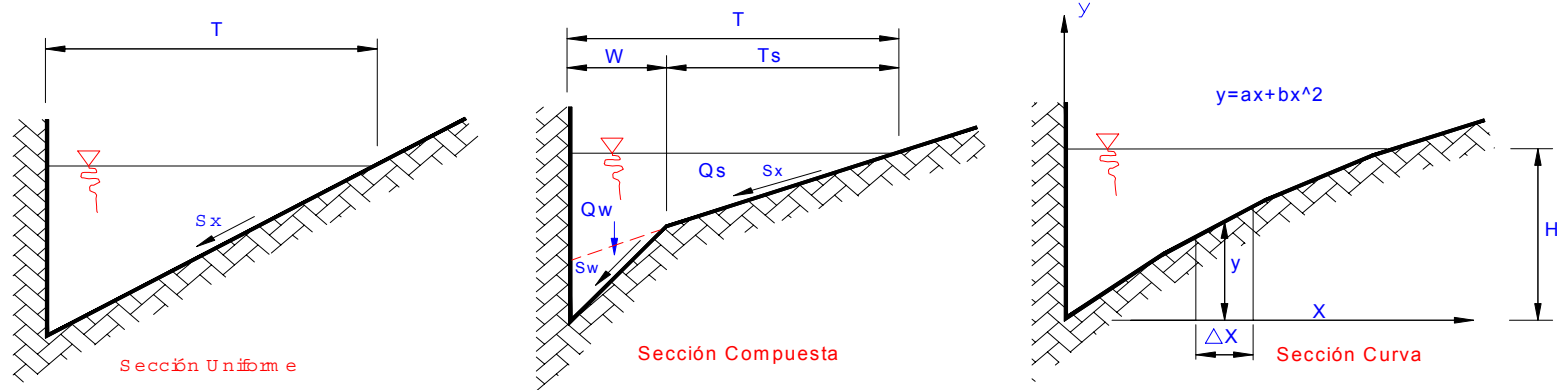
$Q$  = Caudal total en el canal ( $m^3/s$ )

$Q_i$  = Caudal interceptado por el sumidero ( $m^3/s$ )

El flujo que no es interceptado por el sumidero se denomina (Caudal que pasa) y es definido como ilustra la ecuación 3.29.

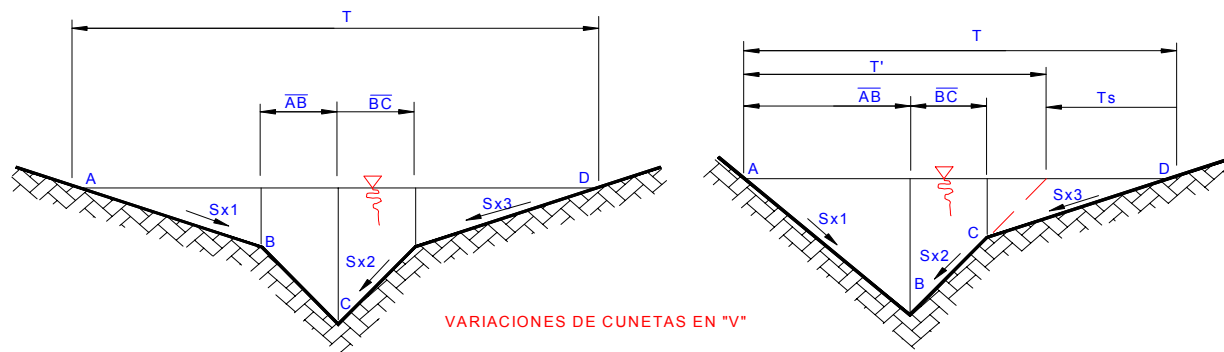
<sup>7</sup> BOLINAGA J.J, Drenaje Urbano, Instituto Nacional de Obras Sanitarias de Venezuela, (1979)

**Figura 3.4 Secciones Típicas del canal formado por la superficie del pavimento, la cuneta y la acera**  
**Figura 3.4.a Secciones convencionales del canal**



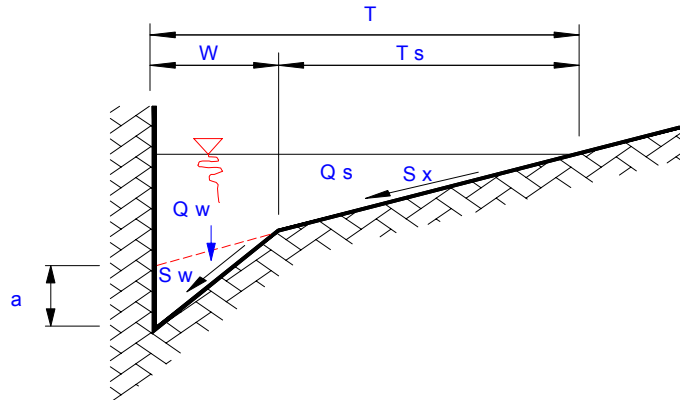
Tomado de la FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, (FHWA), Urban Drainage Design Manual, HEC 22, 1996

**Figura 3.4.b Variaciones de cunetas en "V"**



Tomado de la FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, (FHWA), Urban Drainage Design Manual, HEC 22, 1996

**Figura 3.5 Sección de canal compuesto**



Tomado de la FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, (FHWA), Urban Drainage Design Manual, HEC 22, 1996

$$Q_b = Q - Q_i \quad (\text{Ecuación 3.29})$$

Donde:

$Q_b$  = Caudal que pasa ( $m^3/s$ )

La eficiencia de los sumideros generalmente decrece cuando se incrementan los caudales. Los factores que afectan el flujo en el canal usualmente también influyen en la capacidad de captación de los sumideros. La profundidad del agua en el bordillo o andén ( $Y$ ), es el factor principal en la capacidad de captación en sumideros laterales y sumideros de rejillas. La capacidad de captación de un sumidero de rejillas depende de la cantidad de agua que fluye sobre la rejilla, el tamaño y la configuración de la rejilla y de la velocidad del flujo en el canal. La eficiencia de una rejilla depende de los mismos factores y del caudal total en el canal.

La capacidad de captación de un sumidero lateral (o de ventana) depende en buena parte de la profundidad de flujo y de la longitud de la abertura en el bordillo o andén. La capacidad de captación y la eficiencia es aumentada en un sumidero lateral si se dispone al lado de este una depresión, esto con el objeto de inducir el caudal que circula por la vía a entrar al sumidero. Los Sumideros ranurados funcionan esencialmente de la misma manera que los sumideros laterales, es decir, como vertederos en donde el flujo entra de lado. La capacidad de captación depende principalmente de la profundidad del flujo y longitud del sumidero. La eficiencia depende a su vez de la profundidad del flujo, de la longitud del sumidero y del caudal total circulante. Para los sumideros combinados la capacidad de captación y la eficiencia dependen de los mismos factores que afectan capacidad de captación y la eficiencia en los dos sumideros que lo componen.

**3.2.4 Tipos de sumideros** Según Bolinaga<sup>7</sup> la selección del sumidero apropiado a construir, es de suma importancia, ya que de dicha selección depende la capacidad de captación, por consiguiente el caudal que entra a los colectores y la localización del sumidero.

La (FHWA)<sup>5</sup> divide los sumideros básicamente en (4) clases:

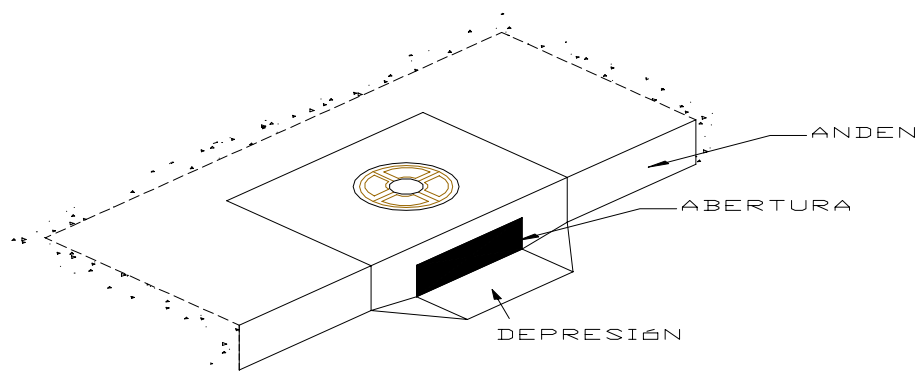
- (1) Sumideros Laterales (o de Ventana)
- (2) Sumideros de rejilla
- (3) Sumideros combinados
- (4) Sumideros de ranura o ranurados

**3.2.4.1 Sumideros Laterales (o de ventana)** Los sumideros laterales (o de ventana) consisten en una abertura rectangular en la cara vertical de la acera, generalmente con una depresión adyacente al hueco, la cual induce al flujo a entrar al sumidero y mejorar la captación de éste.

El sumidero posee, además de la abertura o ventana en el borde de la acera, un canal lateral de desagüe, una pequeña cámara de recolección de sedimentos y una tubería de conexión con el colector público.

La *figura 3.6* muestra un ejemplo genérico de un sumidero lateral (o de ventana) y la *figura 3.7* presenta un detalle de la depresión en el borde del pavimento para un sumidero lateral.

**Figura 3.6 Ejemplo genérico de un sumidero lateral (o de ventana)**

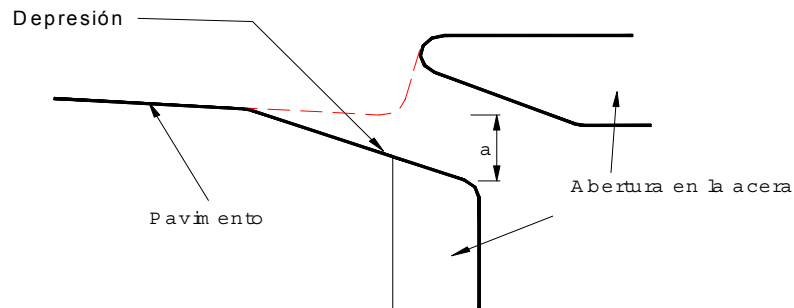


Tomado de TEXAS DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, Hydraulics and Design Manual, 2002

<sup>5</sup> FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, (FHWA), Urban Drainage Design Manual, HEC 22, 1996

<sup>7</sup> BOLINAGA J.J., Drenaje Urbano, Instituto Nacional de Obras Sanitarias de Venezuela, (1979)

**Figura 3.7 Depresión del borde del pavimento para inducir el Flujo al sumidero**



Tomado de TEXAS DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, Hydraulics and Design Manual, 2002

En Bucaramanga la CDMB ha reglamentado para la ciudad tres tipos de sumideros laterales, los cuales se construyen siguiendo el alineamiento de los andenes. Expresa que estos tipos de sumideros se denominaran "SL" y que de acuerdo con la dimensión longitudinal del orificio de captación se denominan así:

SL-200: Sumidero Lateral con 2 m de captación

SL-400: Sumidero Lateral con 4 m de captación

SL-600: Sumidero Lateral con 6 m de captación

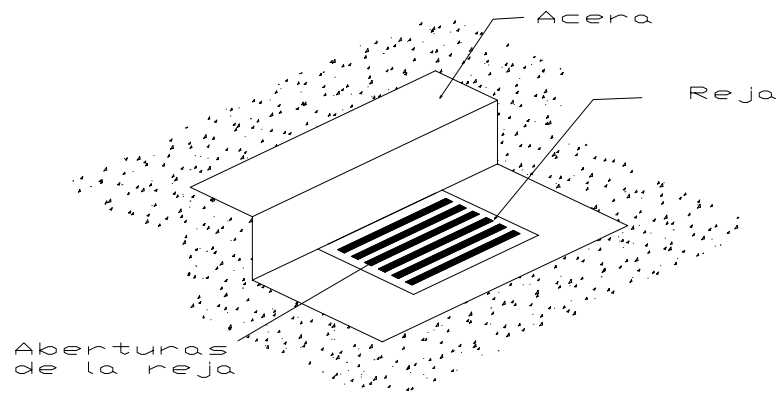
En las *figuras 7, 8, 9, 10, 11 del anexo 3* presentan la planta y cortes de estos tipos de sumideros, así como sus características generales.

**3.2.4.2 Sumideros de Rejilla** Los sumideros de rejilla consisten en una apertura de gran orificio donde ingresan las aguas lluvias, la cual se cubre con una reja, para impedir la caída de vehículos personas u otros objetos de cierto tamaño. La *figura 3.8* se muestra un ejemplo genérico de sumidero de rejillas. Generalmente consta de la reja propiamente dicha, la cámara de desagüe y la tubería de conexión al colector. La *figura 22 y 23 del anexo 3* se muestra algunos ejemplos de ubicación relativa en las calzadas de las vías extraídas de Bolinaga<sup>7</sup>.

Existen numerosos tipos de rejillas, tales como aquellas de barras paralelas a la dirección del flujo en la calzada (más común); de barras normales a dicha dirección y de barras inclinadas. Las formas de las barras pueden ser rectangulares (pletinas) o redondas.

<sup>7</sup> BOLINAGA J.J, Drenaje Urbano, Instituto Nacional de Obras Sanitarias de Venezuela, (1979)

**Figura 3.8 Ejemplo genérico de un sumidero de rejillas**



Tomado de TEXAS DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, Hydraulics and Design Manual, 2002

A continuación se muestran los ejemplos más comunes de rejillas utilizadas en Bucaramanga y otros países como España (Barcelona) y Estados Unidos pero primero se presenta los sumideros que utilizan rejillas en Bucaramanga denominados sumideros transversales.

\* **Sumideros transversales** En Bucaramanga la CDMB<sup>3</sup> tiene reglamentadas dos tipos de sumideros transversales denominados ST-40 y ST2-40.

Dichos sumideros se clasifican de acuerdo a la luz libre de las rejillas en el sentido del eje longitudinal de la calzada, así:

*ST-40:* Sumidero Transversal con una rejilla de luz libre igual a 40 cm.

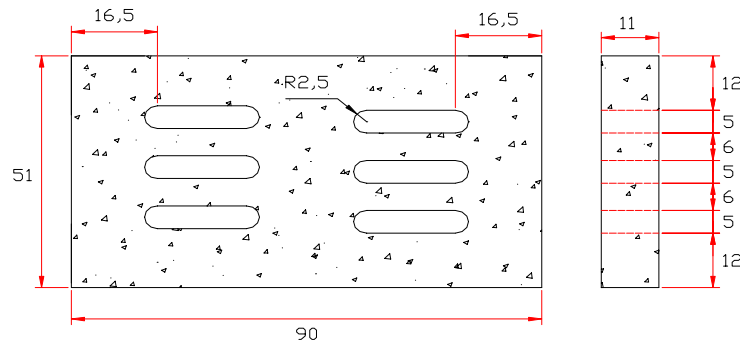
*ST2-40:* Sumidero Transversal con una rejilla con apoyo intermedio y una luz libre de 90 cm. La estructura tiene dos compartimentos de 40 cm de luz libre. Las Características de estos sumideros (ST-40 y ST2-40), planos de planta y cortes se pueden apreciar en las *figuras 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21 del anexo 3*).

*Rejillas Tipo (Utilizadas en Bucaramanga)* En Bucaramanga todavía existen muchos sumideros antiguos que se construyeron hace más de 20 años, los cuales se denominan SL-100 y consistían en una abertura en forma de ventana de longitud (1) metro y una rejilla de concreto rejilla de 90 cm de largo x 50 cm de ancho. Dicha rejilla posee (6) orificios los cuales tienen como función introducir el agua a la red de alcantarillado. La *figura 3.9* nos muestra un detalle de la rejilla. En Bucaramanga se utilizan actualmente cuatro rejillas, tres en hierro fundido y una en concreto.

<sup>3</sup> CDMB, Normas Técnicas para diseño y presentación de proyectos de Alcantarillado, Convenio Sena\_Camacol, 2

Las rejillas en hierro fundido se utilizan para los sumideros ST-40, ST2-40 y se clasifican dependiendo del tráfico a transitar en la vía de la siguiente manera: **Rejilla Tipo liviano** (figura 3.10.a y figura 3.10.b), **Rejilla tipo semipesado** (Figura 3.11) y **Rejilla tipo pesado** (Figura 3.12). Las cuales tienen anchos respectivos de 4 cm, 5 cm y 7.5 cm respectivamente.

**Figura 3.9 Rejilla en Concreto (Sumidero SL-100)**



Todas las dimensiones en cm.

Rejillas Tipo (Utilizadas en España (Barcelona)) Desde hace unos años Gómez-González<sup>27 31</sup> han realizado una serie de ensayos en el Laboratorio de la E.T.S. de Ing. De Caminos y Puertos de Barcelona, dichos ensayos han mostrado el comportamiento hidráulico de un conjunto de rejillas (las más comunes en Barcelona), han mostrado también resultados claros acerca de la eficiencia de captación de dichas rejillas dependiendo del área de sus huecos y de la disposición geométrica que estas poseen. El resultado de estos estudios se mostrarán en detalle en el capítulo 4 donde se mostrarán algunas metodologías utilizadas para el Diseño de sumideros y la Hidráulica de los mismos. A continuación se mostrarán las rejillas analizadas en la E.T.S. de Ing. De Caminos y Puertos de Barcelona las cuales son las más utilizadas en dicha ciudad. Dichas rejillas son las siguientes:

**R-121** (figura 3.13)

**IMPU** (figura 3.14)

**EBRO** (figura 3.15)

**E-25** (figura 3.16)

**DELTA-50** (figura 3.17)

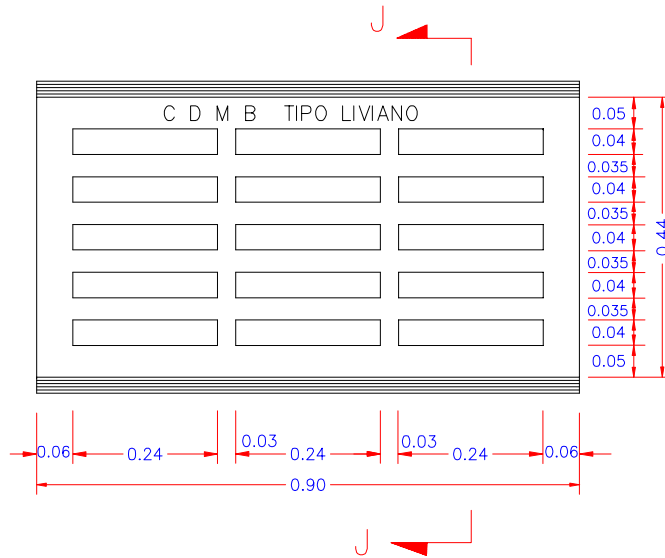
**INTERCEPTORA** (figura 3.18)

Las dimensiones de estas rejillas se presentan en las figuras mencionadas anteriormente y dichas dimensiones se encuentran en mm.

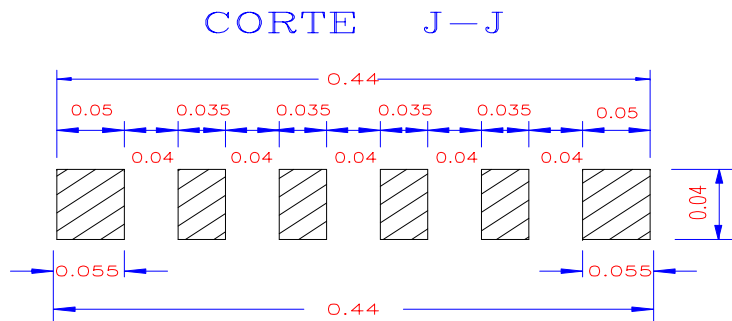
<sup>27</sup> GÓMEZ-GONZÁLEZ, REVISTA INGENIERÍA CIVIL, Nº 114, 1999; CEDEX, Centro de Estudios de Ciencias Aplicadas, Una metodología de selección de Imbornales y cálculo de Caudal captado en viales Urbanos.

<sup>31</sup> GÓMEZ-GONZÁLEZ, MEMORIAS XIX CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA – CORDOBA 2000, Análisis del Comportamiento Hidráulico de Rejas y Sumideros

**Figura 3.10.a** *Rejilla Tipo liviano*

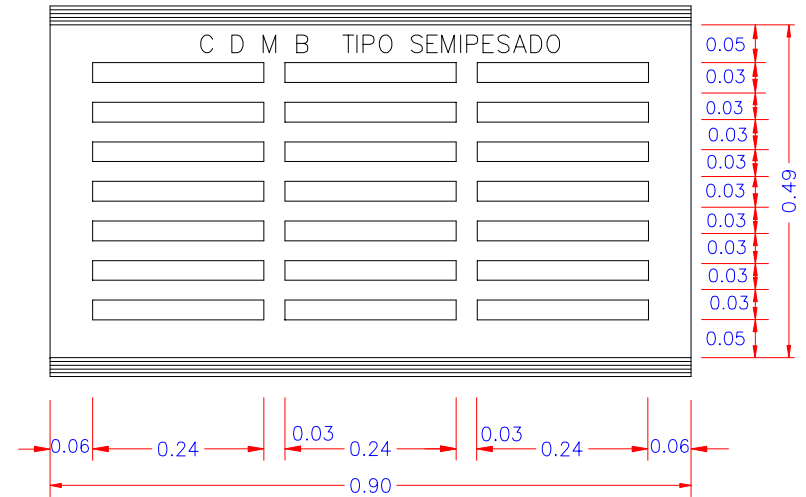


**Figura 3.10.b** *Corte J-J Rejilla Tipo Liviano*

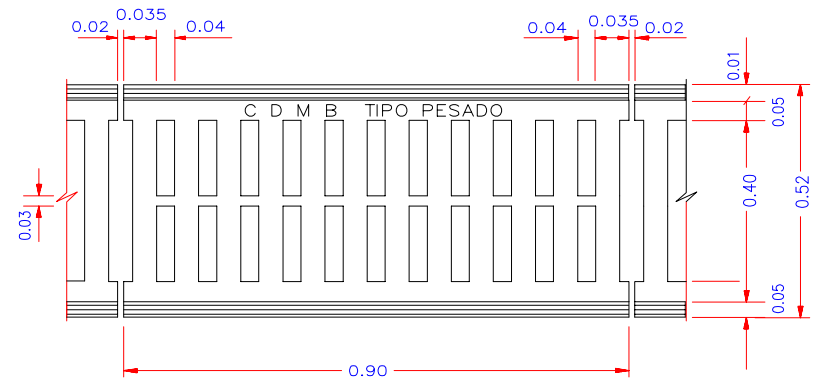


Tomados de CDMB, Normas Técnicas para diseño y presentación de proyectos de Alcantarillado, Convenio Sena-Camacol, 2000

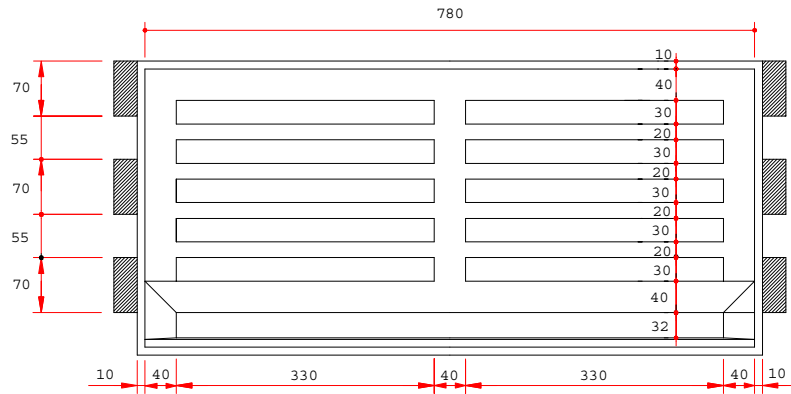
**Figura 3.11** *Rejilla Tipo Semipesado*



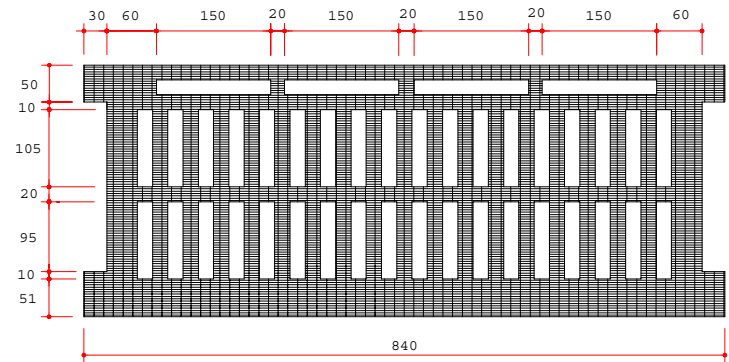
**Figura 3.12** *Rejilla Tipo Pesado*



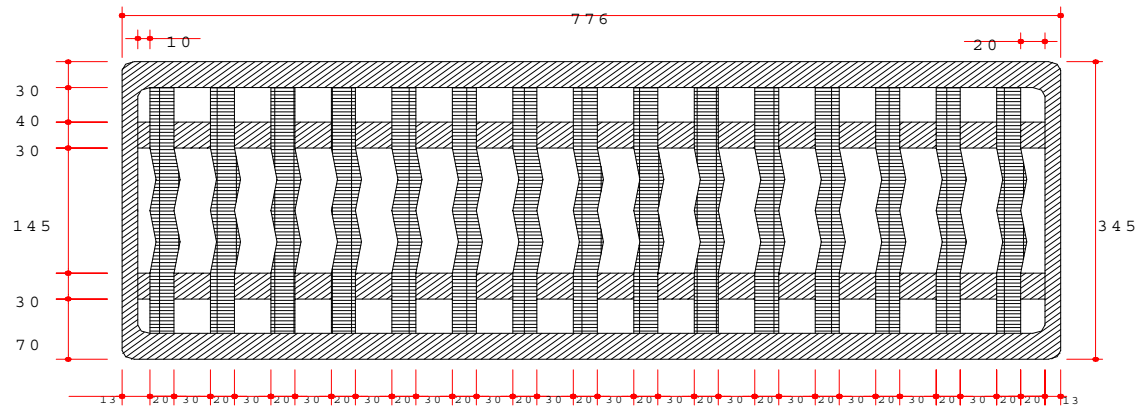
**Figura 3.13** *Rejilla Tipo R-121*



**Figura 3.14** *Rejilla Tipo Impu*

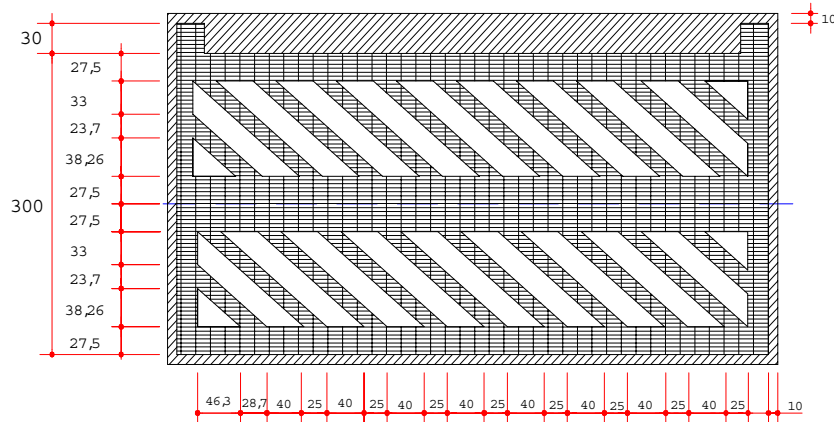


**Figura 3.15** *Rejilla Tipo Ebro*

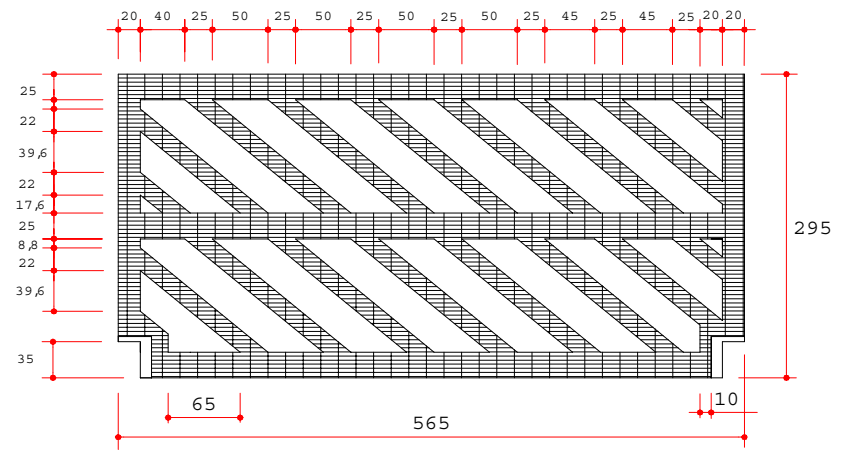


Tomado de GÓMEZ-GONZÁLEZ, REVISTA INGENIERÍA CIVIL, N° 114, 1999; CEDEX, Centro de Estudios de Ciencias Aplicadas, Una metodología de selección de Imbornales y cálculo de Caudal captado en viales Urbanos

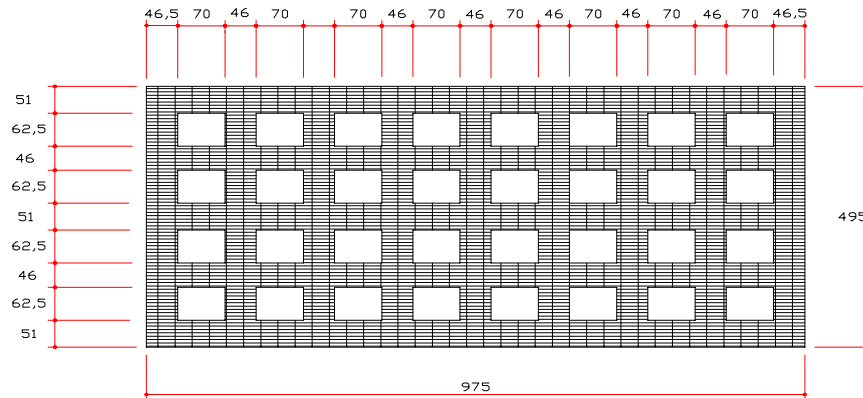
**Figura 3.16** *Rejilla Tipo E-25*



**Figura 3.17** *Rejilla Tipo Delta-50*



**Figura 3.18** *Rejilla Tipo Interceptora*



Tomado de GÓMEZ-GONZÁLEZ, REVISTA INGENIERÍA CIVIL, N° 114, 1999; CEDEX, Centro de Estudios de Ciencias Aplicadas, Una metodología de selección de Imbornales y cálculo de Caudal captado en viales Urbanos

Rejillas Tipo (Utilizadas en Estados Unidos (FHWA)) La capacidad hidráulica de los sumideros ha sido investigada en los Estados Unidos por varias agencias y fabricantes de rejillas. Una de estas agencias y la cual ha realizado estudios y pruebas importantes durante varios años es la oficina de mejoramiento de la **Federal Highway Administration** (FHWA).

La (FHWA)<sup>5</sup> expone cuatro tipos de rejillas las cuales han sido clasificadas y analizadas en pruebas de seguridad de bicicletas, de esas cuatro rejillas mencionadas tres de las han sido diseñadas con un espaciamiento de barras similar al valor probado que se mostró que era seguro para las bicicletas y la otra rejilla se uso para comparar el comportamiento de esta en relación con el funcionamiento de las otras tres. Las rejillas probadas por la (FHWA) se denominan de la siguiente manera:

P-50, P50X100, P-30, Rejilla curvada en forma de veleta, Rejilla de barras inclinadas 45°-60, Rejilla de barras inclinadas 45°-85, Rejilla de barras inclinadas 30°-85, Rejilla reticulada “**honeycomb**” (Forma de Panal de abejas).

**P-50** (figura 3.19): Rejilla de barras paralelas, cada barra espaciada en su ancho 4,8 cm entre ejes de barras, este puede variar entre 38,1 cm hasta 91,4 cm, en su longitud tiene un espaciamiento entre ejes de barras de 10,2 cm y esta puede variar entre 61 cm hasta 121,9 cm.

**P-50x100** (figura 3.19): Es una rejilla exactamente igual a la figura 3.19 pero con barras transversales separadas 1 cm.

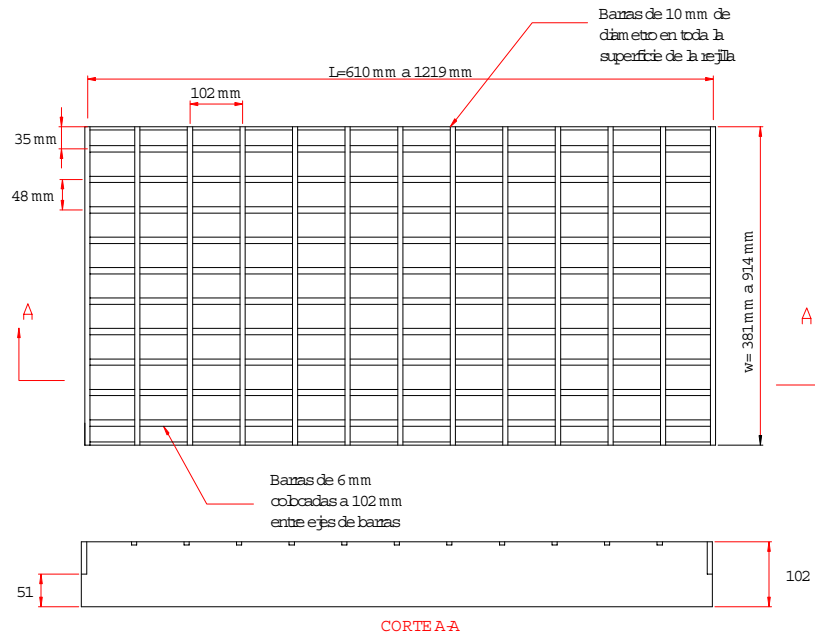
**P-30** (figura 3.20): Rejillas de barras paralelas con espaciamiento en su ancho de 2,9 cm entre ejes de barras, este puede variar entre 38,1 cm hasta 91,4 cm, en su longitud tiene un espaciamiento entre ejes de barras de 28,6 cm y esta puede variar entre 61 cm hasta 121,9 cm.

**Rejilla curvada en forma de veleta** (Figura 3.21): Rejilla con elementos curvados en forma de veleta con 8,3 cm de espaciamiento longitudinal entre elementos y 10,8 cm de espaciamiento transversal entre ejes de barras.

**Rejilla de barras inclinadas 45°-60** (Figura 3.22): Rejilla con elementos longitudinales con un ángulo de inclinación de 45°, con un espaciamiento entre centro de elementos de 5,7 cm y transversalmente un espaciamiento de 10,2 cm entre ejes de barras.

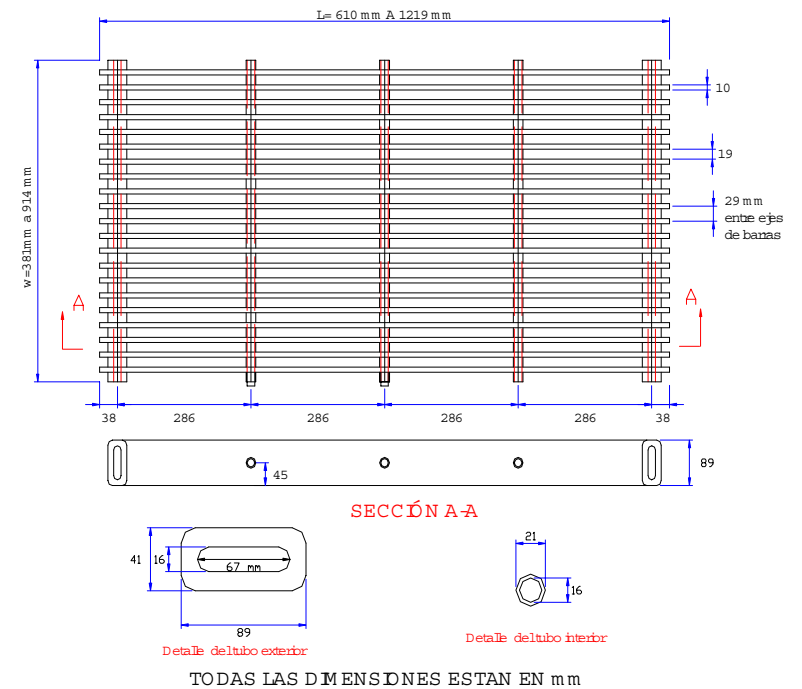
<sup>5</sup> FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, (FHWA), Urban Drainage Design Manual, HEC 22, 1996

**Figura 3.19 Rejilla Tipo P-50 y P-50x100**

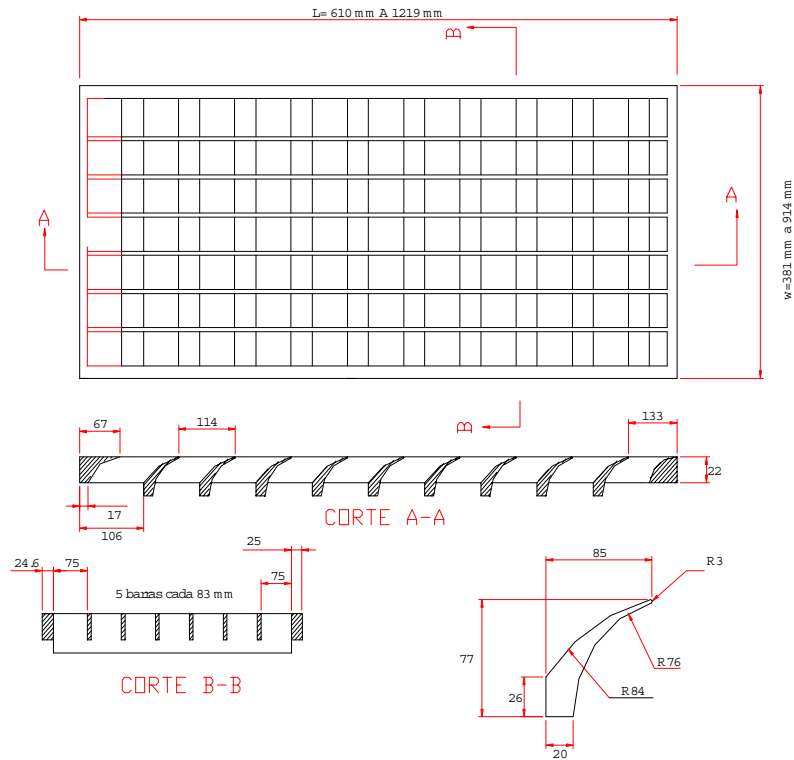


Tomado de FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, (FHWA),  
Drainage of Highway Pavements, Hec-12, 1984

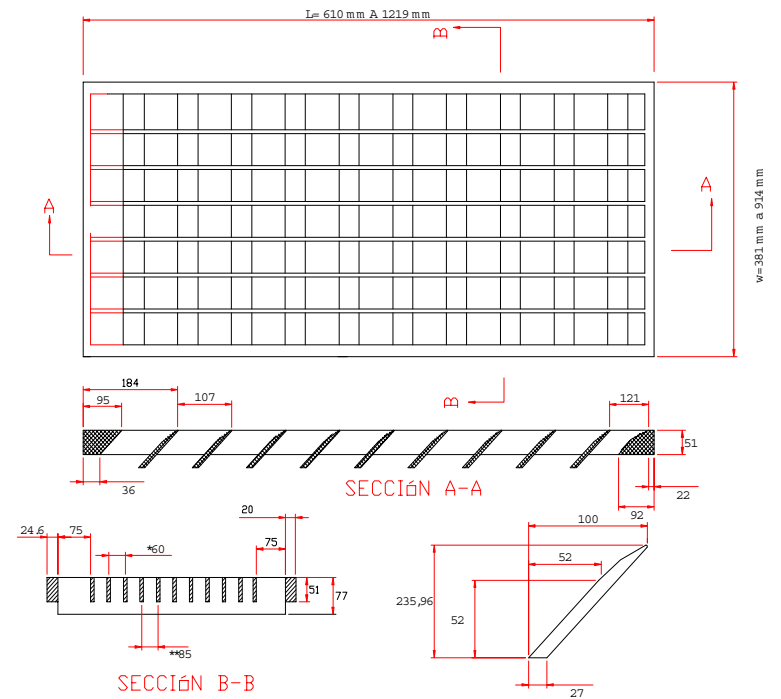
**Figura 3.20 Rejilla Tipo P-30**



**Figura 3.21 Rejilla Tipo Curvada en Forma de Veleta**



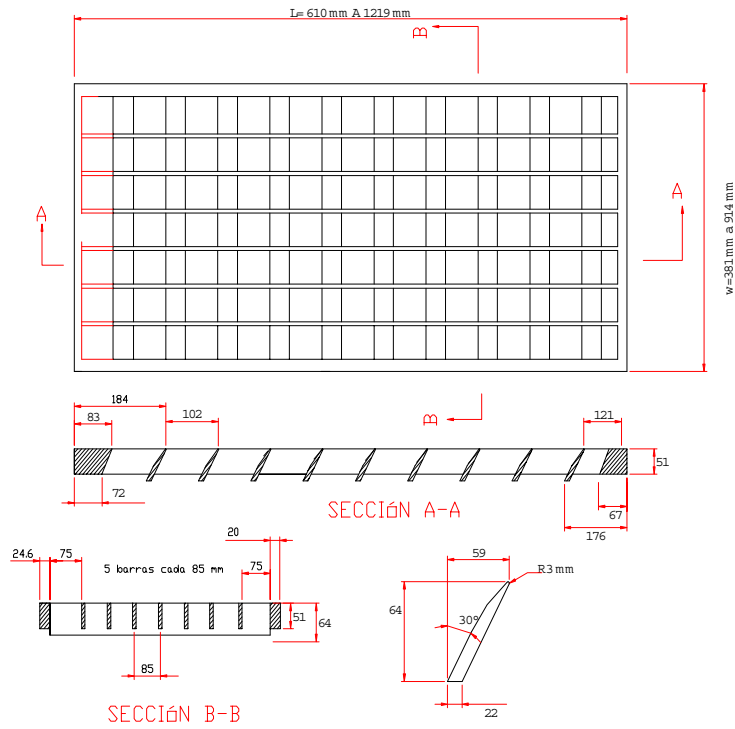
**Figura 3.22 Rejilla Tipo de Barras Inclinas 45°-60 y 45°-85**



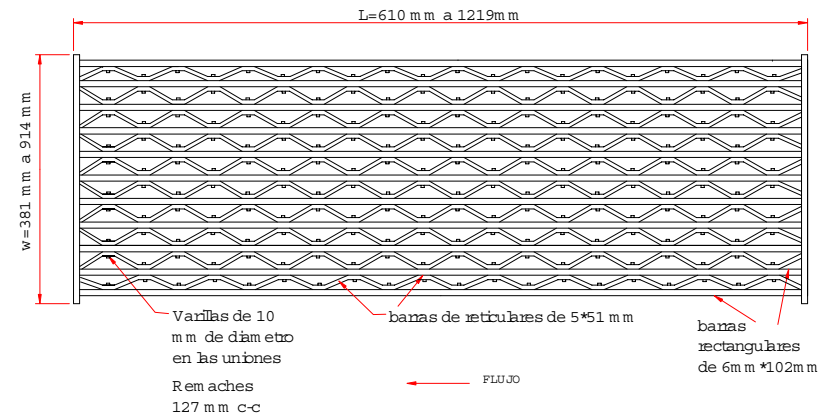
- \* Separación de barras para la rejilla 45°-60
- \*\* Separación de barras para la rejilla 45°-85

Tomado de FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, (FHWA),  
Drainage of Highway Pavements, Hec-12, 1984

**Figura 3.23** *Rejilla de barras inclinadas 30°-85*



**Figura 3.24** *Rejilla Reticulada "honeycomb" Forma panal de abejas*



Tomado de FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, (FHWA),  
Drainage of Highway Pavements, Hec-12, 1984

**Rejilla de barras inclinadas 45°-85** (Figura 3.23): Rejilla con elementos longitudinales con un ángulo de inclinación de 45°, con un espaciamiento entre centro de elementos de 8,3 cm y transversalmente un espaciamiento de 10,2 cm entre ejes de barras.

**Rejilla de barras inclinadas 30°-85** (Figura 3.24): Rejilla con elementos longitudinales con un ángulo de inclinación de 30°, con un espaciamiento entre elementos de 8,3 cm y transversalmente un espaciamiento de 10,2 cm entre ejes de barras.

**Rejilla reticulada “honeycomb”** (Figura 3.25): Es una rejilla con un patrón de barras laterales en forma de panal de abejas y barras longitudinales de 6 mm de diámetro con espaciamiento entre ejes de 10,2 cm

**3.2.4.3 Sumideros Combinados** Estos sumideros están compuestos por una combinación de los dos sumideros mencionados anteriormente el sumidero de lateral (o de ventana) y un sumidero de rejilla, tratando de tomar lo más positivo de cada uno, es decir mejora la eficiencia del sumidero de ventana y reduce la ocupación en la calzada por el sumidero de rejillas. La figura 3.25 muestra un ejemplo genérico de un sumidero combinado.

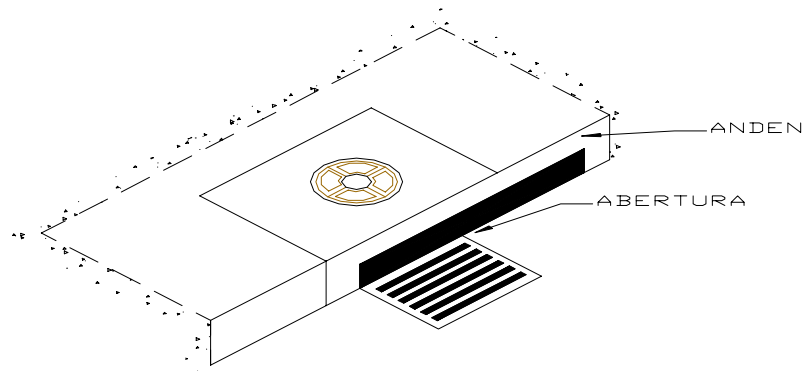
Un sumidero combinado tiene una capacidad de captación igual a la suma de la abertura del sumidero lateral (longitud desde donde comienza la abertura hasta la rejilla) más la capacidad de la rejilla, esta condición se da al menos si hay flujo frontal y la capacidad de captación de la rejilla sea reducida por la capacidad de captación del sumidero lateral.

El uso de estos sumideros generalmente no es muy recomendable debido a que no se han determinado datos precisos de la capacidad hidráulica de estos lo que conduce a cierta incertidumbre en su uso.

La figura 24 del anexo 3 indica las diferentes posibilidades de ubicación relativa de rejillas y sumidero lateral. Se puede apreciar en la figura que la posición más eficiente es cuando el sumidero lateral atrae el flujo al sumidero y la rejilla atrae el flujo que lo sobrepasa.

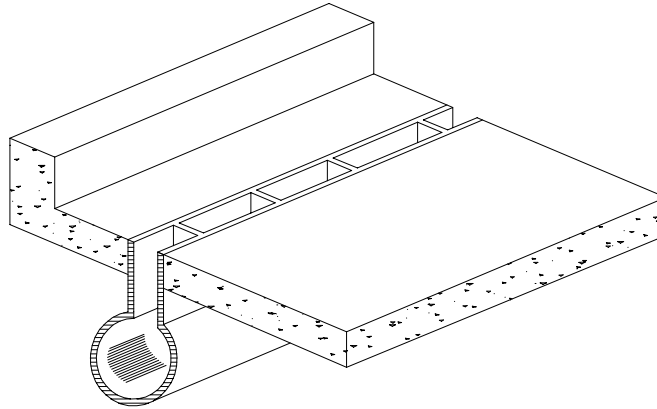
**3.2.4.4 Sumideros Ranurados** Son sumideros los cuales constan de una rejilla muy delgada o ranura que se construye a ras con la superficie del pavimento o superficie donde se requiera, la cual va conectada longitudinalmente a un tubo por donde drena el agua. Para estos tipos de sumideros se recomienda reforzarlos adecuadamente para garantizar integridad estructural y pueden ser utilizados transversalmente en las vías o en las intersecciones de las calles. La figura 3.26 ilustra un ejemplo genérico de un sumidero ranurado.

**Figura 3.25 Ejemplo genérico de Sumidero Combinado**



Tomado de TEXAS DEPARMENT OF TRANSPORTATION, Hydraulics and Design Manual, 2002

**Figura 3.26 Ejemplo genérico de un Sumidero Ranurado**



Tomado de TEXAS DEPARMENT OF TRANSPORTATION, Hydraulics and Design Manual, 2002

**3.2.4.5 Ventajas y desventajas de los tipos de sumideros** De una buena selección de los sumideros depende la capacidad de captación y la localización del mismo. En la *tabla 3.2* se presentan una serie de ventajas, desventajas y recomendaciones que es necesario saber hacer una correcta selección de los sumideros.

**Tabla 3.2 Ventajas y desventajas de los tipos de sumideros**

TIPO DE SUMIDERO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
LATERAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Su mayor ventaja radica en su poca interferencia con el tránsito de vehículos, al margen de esto son costosos y captan fácilmente sedimentos y desperdicios (basuras), que perjudican su normal funcionamiento.</li> <li>- Debe tener prioridad, por razones viales, a su utilización en vías arteriales y distribuidoras.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No se deben utilizar cuando se tengan indicios de que existe la posibilidad de acarreo cuantioso de desperdicios y sedimentos.</li> <li>- Se debe utilizar preferiblemente cuando su eficiencia sea al menos de un 75 % lo cual puede ocurrir para pendientes inferiores al 3% y anchos de inundación de menos de 3 metros.</li> </ul>
REJILLAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La mayor ventaja de este sumidero es la capacidad hidráulica de este sumidero que es superior al lateral, especialmente en pendientes pronunciadas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Genera inconvenientes con el tránsito, además de ser ruidosos cuando un vehículo pasa sobre ellos.</li> <li>- La reja se tapona fácilmente con los sedimentos y basuras que transportan las aguas lluvias.</li> </ul>
COMBINADO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Son las mismas de los sumideros que los conforman</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Son las mismas de los sumideros que los conforman</li> </ul>
RANURADO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Son adaptables a las características urbanas del camino tales como calzadas, intersecciones de la calle y aceras.</li> <li>- Se acomodan al tráfico vehicular como a las bicicletas y al tráfico peatonal.</li> <li>- No es necesaria una depresión para la eficiencia hidráulica.</li> <li>- El flujo sobre este tipo de sumidero es posible a muy bajo costo.</li> <li>- La construcción es simple y su procedimiento muy rápido.</li> <li>- Los recubrimientos en el pavimento u otros tratamientos superficiales se adaptan sin ningún efecto en las características hidráulicas originales del sumidero.</li> <li>- Tiene una capacidad autolimpiadora.</li> <li>- Son muy estéticos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tienen sensibilidad a acumular desechos en partes con topografía de depresiones por eso se recomienda no usarlos en lugares de esas características.</li> <li>- Para realizar un mantenimiento efectivo es necesario una abertura en la acera o que la rejilla del sumidero se pueda retirar.</li> <li>- La tubería de desagüe de estos sumideros puede llegar a tener problemas estructurales del conector en zonas donde hayan conexiones flexibles a lo largo del camino.</li> </ul>

## 4. ESTADO DEL ARTE

Los sumideros son las estructuras más utilizadas para incorporar la escorrentía superficial a los colectores. Como se menciona en el capítulo 3, los sumideros se clasifican en sumideros laterales (o de ventana), sumideros de rejillas, sumideros combinados y sumideros ranurados. Cada uno de estos sumideros tiene características específicas en cuanto a su forma, condiciones del flujo y campo de aplicabilidad del proyecto. Los sumideros pueden tener o no una capacidad establecida para interceptar el caudal que pasa por la cuneta. Todos los tipos de sumideros captan más agua a medida que aumenta la altura de agua en la cuneta, pudiendo parte de este caudal sobrepasar los mismos.

### 4.1 FACTORES QUE INCIDEN EN LA HIDRÁULICA DE LOS SUMIDEROS

Como se explica en el capítulo 3, la capacidad de captación de un sumidero ( $Q_i$ ), es el caudal interceptado por el sumidero bajo ciertas condiciones. La eficiencia de captación ( $E$ ), es el porcentaje de caudal que el sumidero captará bajo esas condiciones. La eficiencia de captación varía con los cambios en la pendiente transversal, pendiente longitudinal, en el caudal total del canal y en menor grado en con los cambios e la rugosidad del pavimento.

La eficiencia matemáticamente se puede definir como se indica en la *ecuación 4.1* y el caudal que no es interceptado o caudal que pasa se define en la *ecuación 3.2*.

$$E = \frac{Q_i}{Q} \quad (\text{Ecuación 4.1})$$

$$Q_b = Q - Q_i \quad (\text{Ecuación 4.2})$$

Donde:

E= Eficiencia de entrada

Q= Caudal total en el canal ( $m^3/s$ )

$Q_i$ = Caudal interceptado por el sumidero ( $m^3/s$ )

$Q_b$ = Caudal que pasa ( $m^3/s$ )

En general la capacidad de captación de los diferentes tipos de sumideros depende del caudal circulante (el cual se determina por métodos hidrológicos), de la pendiente longitudinal, de la pendiente transversal, de la altura del agua en el sardinel y de la rugosidad de la vía.

**4.1.1 Profundidad del agua** A medida que la lluvia cae, la porción de agua que se convierte en escorrentía empieza a ganar nivel a medida que se desplaza por la calle. Los factores que influyen la profundidad del agua en el pavimento son la longitud de la trayectoria del flujo, la intensidad de la

precipitación, la textura superficial y la pendiente de la vía tanto longitudinal como transversalmente.

**4.1.2 Pendiente longitudinal de la vía** La experiencia ha demostrado que los valores mínimos recomendados de pendiente longitudinal del camino dada en las normas de AASHTO<sup>24</sup> proporciona un drenaje seguro y aceptable del pavimento.

Dicho estudio presenta las siguientes recomendaciones:

1. Se necesita un valor de pendiente longitudinal más grandes en pavimentos limitados por andenes que en los que no lo están, así como se necesita una pendiente considerable en pavimentos no limitados por andenes si se acumula vegetación en el borde del pavimento.
2. La pendiente mínima es del 0.5 %.
3. Se debe proporcionar un drenaje adecuado en curvas verticales sobre puntos bajos, con una pendiente mínima de 0.3 %.

**4.1.3 Pendiente transversal de la vía** Generalmente se debe utilizar una pendiente transversal cercana al 2%, ya que esta pendiente produce poco esfuerzo en el vehículo o el conductor durante la operación de este. Si la pendiente transversal es demasiado plana, se acumula más agua en la superficie del pavimento, lo cual puede producir fenómenos como hidroplanear, fenómeno explicado anteriormente.

**4.1.4 Rugosidad del pavimento** La rugosidad de un pavimento es importante debido que si un pavimento no posee la rugosidad apropiada, se propicia un aumento en la lamina de agua y por consiguiente se afecta la capacidad de de los vehículos a sufrir un fenómeno denominado hidroplanear, explicado en el capítulo 1.

## **4.2 HIDRÁULICA DE LOS SUMIDEROS LATERALES (O DE VENTANA)**

Los sumideros laterales se utilizan como elementos de captación de escorrentía en vías que se encuentran confinados por los sardineles o andenes. Estos elementos y la pendiente transversal de la calzada, determinan una sección triangular para el flujo de aproximación al sumidero, la cual tiene poca profundidad y un ancho superficial condicionado por las normas que limitan el grado de interferencia con el tránsito de vehículos.

Este tipo de sumideros son una mejor alternativa que los sumideros de rejillas cuando en la vía se maneja un volumen de tráfico alto, debido a que no producen ruido y no generan inconvenientes a los peatones ni a los ciclistas.

<sup>24</sup> AASHTO, AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS, 1990, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, Washington, D.C.

Los sumideros laterales se pueden trabajar de dos formas cuando su ubicación es lateral al flujo, éste trabaja como un vertedero lateral cuyo flujo configura un movimiento espacialmente variado y cuando se ubica en un punto bajo de una vía, condición para la cual el sumidero lateral funciona como un vertedero de cresta ancha o bien como el caudal a través de un orificio, dependiendo de la altura del agua en el sector de concentración de caudales.

#### **4.2.1 Cálculo de la capacidad en un sumidero lateral (o de ventana)**

Bolinaga<sup>7</sup> señala algunos factores de los cuales depende la capacidad del sumidero lateral (o de Ventana).

- Condiciones de flujo de aproximación, expresada por el caudal  $Q_A$  y la altura de agua en el sardinel  $Y_A$  a su vez interrelacionados por la geometría de la vía, su pendiente longitudinal  $S_Y$  y rugosidad  $n$ .
- Longitud  $L$  de la ventana.
- Para un mismo caudal  $Q_A$  y en relación a un sumidero de longitud  $L$ , su capacidad de captación  $Q_i$  disminuye con la pendiente longitudinal de la vía, puesto que  $Y_A$  se hace menor y por lo tanto se reducen las cargas hidráulicas que inducen al ingreso lateral del agua.
- Especificado  $Q_A$ ,  $L$  y  $S_Y$ , la capacidad de los sumideros de ventana aumenta con incrementos de la pendiente transversal de la vía  $S_x$ .

Es importante tener en cuenta algunas consideraciones prácticas, que han sido el resultado de investigaciones experimentales acerca de los sumideros:

- La práctica ha demostrado que la eficiencia del sumidero de ventana, mejora significativamente si se coloca una depresión en un sector adyacente a la abertura lateral. Esta alteración puede determinar una condición de flujo, cuyas características no estén debidamente consideradas en las ecuaciones derivadas de las ecuaciones de régimen variado, debido a la curvatura apreciable de las líneas de corriente, a las pérdidas de energía localizadas y a la posibilidad de ahogamiento parcial o total de la ventana.
- El efecto de las ondas superficiales que se generan en las alteraciones de los contornos, si el régimen de aproximación es supercrítico.
- La dispersión de datos y por lo tanto la dificultad en la selección del coeficiente de descarga que interviene en la ecuación del flujo de descarga lateral.

<sup>7</sup> BOLINAGA J.J, Drenaje Urbano, Instituto Nacional de Obras Sanitarias de Venezuela, (1979)

La **Texas Department of Transportation**<sup>6</sup> señala que el diseño de sumideros laterales, implica la determinación de la longitud requerida para la captación total del flujo, la cual es una decisión subjetiva con relación a la real que se utilizará e implica también una estimación del flujo que sobrepasa el sumidero sin entrar a él.

**4.2.1.1 Sumideros laterales sin depresión adyacente** A continuación se presentan una serie de metodologías para determinar la captación en sumideros laterales sin depresión adyacente.

**Metodología de Materón** Materón<sup>15</sup> menciona que un sumidero lateral sin depresión funciona como un vertedero lateral y de acuerdo la ecuación de Francis (ecuación 4.3) se tiene:

$$Q = 1.84 * L_e * H^{\frac{3}{2}} \quad (\text{Ecuación 4.3})$$

Donde:

Q= Caudal a captar por la captación lateral, (m<sup>3</sup>/s)

L = longitud efectiva de la captación lateral, m

H= carga sobre la cresta de captación, m.

Además menciona que se puede establecer que no se considera la carga de velocidad, pues la toma es lateral y la velocidad del agua, podemos considerarla prácticamente nula.

**Captación lateral con barras:** Si el sumidero lateral tiene una serie de barras a lo largo de la longitud de este, hay que considerar las pérdidas de energía en la rejilla. Una fórmula de uso frecuente que expresa las pérdidas en función de la velocidad de aproximación es la fórmula de Kirshmmer (ecuación 4.4) mostrada en Chow<sup>16</sup>.

$$h = B * \left( \frac{W}{b} \right)^{\frac{4}{3}} * h_v * \text{sen} \phi \quad (\text{Ecuación 4.4})$$

Donde:

H =pérdida de carga, (m)

B = Factor de forma de la rejilla. El valor de B es igual a 1.79 para barras circulares y 2.42 para barras rectangulares)

W= Espesor de la barra en la rejilla, (m)

b = Espacio entre barras (m)

$\phi$  = Angulo de la barra con la horizontal, (grados)

h<sub>v</sub>= Cabeza de velocidad del agua a la entrada de la rejilla, (m) (ecuación

4.5)

<sup>6</sup> TEXAS DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, Hydraulics and Design Manual, 2002

<sup>15</sup> MATERÓN HERNÁN, Obras Hidráulicas Rurales, Editorial Universidad del Valle, Cali 1997.

<sup>16</sup> CHOW, V. T, HIDRÁULICA DE CANALES ABIERTOS, Editorial Mc GRAW Hill, 1994.

$$h_v = \frac{V^2}{2 * g} \quad (\text{Ecuación 4.5})$$

Donde:

V= Velocidad promedio del agua de la captación lateral, (m/s)

g = Valor de la gravedad, 9.81 (m/s<sup>2</sup>)

Materón<sup>30</sup> recomienda que debido a la obstrucción de la rejilla por arrastre y acumulación de material flotante y en suspensión, se deben aumentar la pérdidas de 2 a 3 veces. Los diseñadores de sumideros generalmente recomiendan una pérdida mínima de 6 cm.

**Metodología de la Johns Hopkins University** La metodología de la **Johns Hopkins University** para el diseño de sumideros laterales sin depresión es similar a la explicada en el *capítulo 1* con la cual se diseñan los sumideros actualmente en Bucaramanga con la diferencia que no se incluye el valor de C. (Ver capítulo 1 sección 1.2.1)

**Metodología de la FHWA** Estudios realizados por la FHWA<sup>5</sup> expresan que la altura de la abertura lateral de estos sumideros debe estar entre 100 mm a 150 mm y además muestra una fórmula para determinar la longitud requerida de la abertura, para captar el caudal total que fluye por el pavimento, la cual es mostrada en la *ecuación 4.6*.

$$L_T = K_c * Q^{0.42} * S_Y^{0.3} \left( \frac{1}{n * S_X} \right)^{0.6} \quad (\text{Ecuación 4.6})$$

Donde:

Kc= 0.817(0.6 en unidades inglesas)

L<sub>T</sub>= longitud requerida para captar el 100% del flujo en el canal (m)

S<sub>y</sub>= Pendiente longitudinal

Q= Caudal Total en el canal o vía (m<sup>3</sup>/s)

La Eficiencia de estos tipos de sumideros es expresada en la *ecuación 4.7*.

$$E = 1 - \left( 1 - \frac{L}{L_T} \right)^{1.8} \quad (\text{Ecuación 4.7})$$

Donde:

L= Longitud real del sumidero (m)

En la *figura 1 del anexo 4* se puede apreciar una solución gráfica de la *ecuación 4.7*.

<sup>5</sup> FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, (FHWA), Urban Drainage Design Manual, HEC 22, 1996

**4.2.1.2 Sumideros laterales con depresión adyacente** A continuación se presentan las principales metodologías para determinar el caudal de captación de los sumideros laterales con depresión adyacente.

**Metodología de la Johns Hopkins University** La metodología de la **Johns Hopkins University**<sup>17</sup> para el diseño de sumideros laterales con depresión es con la cual se basa el diseño de los sumideros actualmente en Bucaramanga (Ver capítulo 1 sección 1.2.1).

**Metodología de la FHWA** La FHWA<sup>5</sup> expresa que para los sumideros laterales con depresión adyacente, se puede encontrar una pendiente transversal equivalente, ( $S_e$ ) en lugar de ( $S_x$ ) de la ecuación 4.8. El valor de ( $S_e$ ) se puede determinar como en la ecuación 4.9. (Ver figura 4.1)

$$S_e = S_x + S'_w * E_o \quad (\text{Ecuación 4.8})$$

Donde:

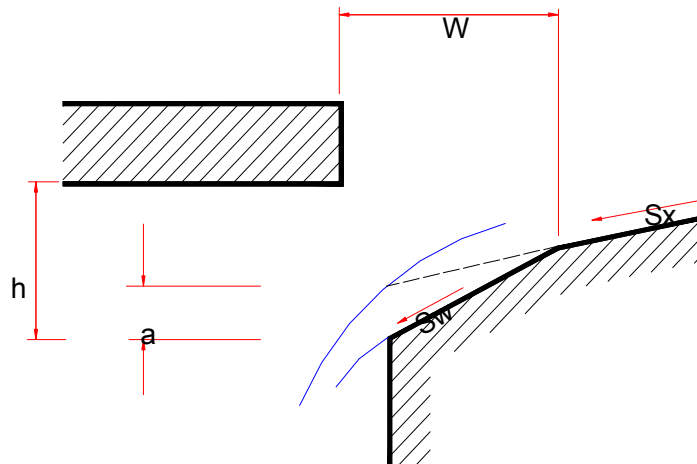
$S'_w$  = Pendiente Transversal de la depresión medida desde la pendiente transversal del pavimento, ( $S_x$ ), (m/m) y:

$$S'_w = \frac{a}{[1000 * W]} \quad (\text{Ecuación 4.9})$$

$a$  = Altura de la depresión, (mm)

$E_o$  = Relación del caudal determinado en la zona deprimida con el caudal hallado en un punto aguas arriba del sumidero.

**Figura 4.1 Sumidero lateral (o de ventana) con depresión**



Tomado de FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, (FHWA), Urban Drainage Design Manual, HEC 22, 1996

<sup>5</sup> FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, (FHWA), Urban Drainage Design Manual, HEC 22, 1996

<sup>17</sup> JOHNS HOPKINS UNIVERSITY, The Design of Stormwater inlets. Report of the Storm Drainage Community, (1956)

La condición de una depresión adyacente al sumidero lateral disminuye notablemente, la longitud requerida de captación expresada en la *ecuación 4.6*. La modificación de la *ecuación 4.6* se muestra en la *ecuación 4.10*, en donde se cambia el valor de la pendiente transversal ( $S_x$ ) por un valor de pendiente equivalente ( $S_e$ ).

$$L_T = K_c * Q^{0.42} * S_Y^{0.3} \left( \frac{1}{n * S_e} \right)^{0.6} \quad (\text{Ecuación 4.10})$$

**4.2.1.3 Sumideros laterales en puntos bajos** Según la FHWA<sup>5</sup> la capacidad de un sumidero lateral en un punto bajo depende de la profundidad del agua en la acera, la longitud de la abertura lateral y de la altura de la abertura lateral.

Un sumidero lateral en un punto bajo puede funcionar de manera análoga a la de un vertedero, esta situación se presenta hasta profundidades iguales a la altura de la abertura lateral en la acera, o puede funcionar como un orificio para alturas mayores 1.4 veces la altura de la abertura lateral. Para alturas entre 1.0 y 1.4 veces la altura de la abertura el flujo está en una etapa de transición. La FHWA<sup>5</sup> también señala que se ha podido determinar según pruebas de laboratorio que el coeficiente del vertedero disminuye cuando se utiliza como un vertedero, aquí se recomienda un valor de 1.25 ( $m^{0.5}/s$ ) cuando el sumidero posee depresión adyacente y cuando no la posee recomienda un valor de 1.6 ( $m^{0.5}/s$ ).

La capacidad de un sumidero lateral sin depresión cuando funciona como un vertedero se puede estimar con la *ecuación 4.11*.

$$Q = C_w * L * d^{1.5} \quad (\text{Ecuación 4.11})$$

Arreglando la *ecuación 4.11*, se puede obtener el valor de la longitud requerida por el sumidero, dicha ecuación se expresa en la *ecuación 4.12*.

$$L = \frac{Q}{C_w * d^{1.5}} \quad (\text{Ecuación 4.12})$$

Donde:

Q= Caudal total que alcanza la abertura ( $m^3/s$ )

Cw= Coeficiente del vertedero ( $m^{0.5}/s$ ), valor sugerido; 1.6 ( $m^{0.5}/s$ ).

d= Profundidad del agua, sobre la abertura en el sardinel (m), y se puede estimar por la *ecuación 4.13*.

L= longitud de la abertura en el andén o acera (m)

<sup>5</sup> FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, (FHWA), Urban Drainage Design Manual, HEC 22, 1996

Para poder utilizar correctamente la *ecuación 3.16* se debe tener en cuenta la limitante mostrada en la *ecuación 3.18*.

$$d = T * S_x \text{ (Ecuación 4.13)}$$

$$d \leq h \text{ (Ecuación 4.14)}$$

Donde:

h= altura de la abertura en el andén o acera

Cuando un sumidero lateral trabaja en un punto bajo, funciona como vertedero y posee depresión adyacente, la FHWA<sup>5</sup> recomienda utilizar la *ecuación 4.15*.

$$Q = C_w * (L + 1.8 * W) * d \text{ (Ecuación 4.15)}$$

Donde:

Q= Caudal total que alcanza la abertura (m<sup>3</sup>/s)

Cw= Coeficiente del vertedero (m<sup>0.5</sup>/s), valor sugerido; 1.25 (m<sup>0.5</sup>/s).

W= Ancho de la depresión (*Ver figura 4.1*)

L= longitud de la abertura en el andén o acera (m)

Para poder utilizar correctamente la *ecuación 4.15* se debe tener en cuenta la limitante mostrada en la *ecuación 4.16*.

$$d \leq h + \left[ \frac{a}{1000} \right] \text{ (Ecuación 4.16)}$$

Donde:

h= Altura de la depresión de la abertura en la acera o andén (m)

a= Profundidad de la depresión (mm)

La otra forma en la que puede operar un sumidero lateral en un punto bajo es como un orificio y esto sucede cuando la profundidad del agua (d) es más de 1.4 veces la altura de la abertura en la acera o andén, la FHWA recomienda utilizar las *ecuación 4.17* (cuando los sumideros poseen depresión adyacente) o la *ecuación 4.18* (cuando los sumideros no poseen depresión adyacente).

$$Q = C_0 * h * L + (2 * g * d_0)^{\frac{1}{2}} \text{ (Ecuación 4.17)}$$

$$Q = C_0 * A_g * \left[ 2 * g * \left( d_i - \frac{h}{2} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \text{ (Ecuación 4.18)}$$

Donde:

C<sub>0</sub>= Coeficiente del orificio, valor recomendado 0.67.

<sup>5</sup> FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, (FHWA), Urban Drainage Design Manual, HEC 22, 1996

$d_o$  = Cabeza efectiva en el centro de la boca del orificio, su valor se puede apreciar más claramente en la *figura 4.2* y en la *ecuación 4.19*.

$$d_o = d_i - (h/2) \quad (\text{Ecuación 4.19})$$

L = longitud de la abertura del orificio, (m)

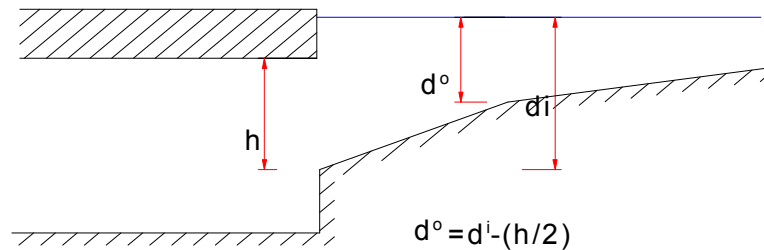
$A_g$  = Área libre de la abertura, ( $m^2$ )

$d_i$  = Profundidad en el borde de la abertura, (m), (Ver *figura 4.2*) y *ecuación 4.20*.

$$d_i = S_x * T + a \quad (\text{Ecuación 4.20})$$

h = Altura de la abertura en el sardinel (m)

**Figura 4.2 Sumidero lateral operando como orificio con tragante Horizontal**



Tomado de FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, (FHWA), Urban Drainage Design Manual, HEC 22, 1996

### 4.3 HIDRÁULICA DE LOS SUMIDEROS DE REJILLAS

En este tipo de sumideros, el agua que fluye por la vía es interceptada por una reja, cuyas barras están separadas a una distancia tal que sin resultar objetable para el tráfico, permita una máxima captación del caudal de escorrentía. Bolinaga<sup>7</sup> expresa que el caudal de este tipo de sumidero puede considerarse como un flujo espacialmente variado con descarga en el Fondo. Sin embargo, la compleja configuración el movimiento, la dificultad de una cuantificación precisa del coeficiente de descarga de fondo, y la gran cantidad de formas y pletinas que se utilizan desalientan cualquier intento de desarrollar un procedimiento general con este tipo de sumideros.

**4.3.1 Cálculo de la capacidad del sumidero de rejillas** A continuación se muestra algunas metodologías propuestas en la bibliografía, para determinar la capacidad hidráulica en este tipo de sumideros.

<sup>7</sup> BOLINAGA J.J, Drenaje Urbano, Instituto Nacional de Obras Sanitarias de Venezuela, (1979)

<sup>15</sup> MATERÓN HERNÁN, Obras Hidráulicas Rurales, Editorial Universidad del Valle, Cali 1997

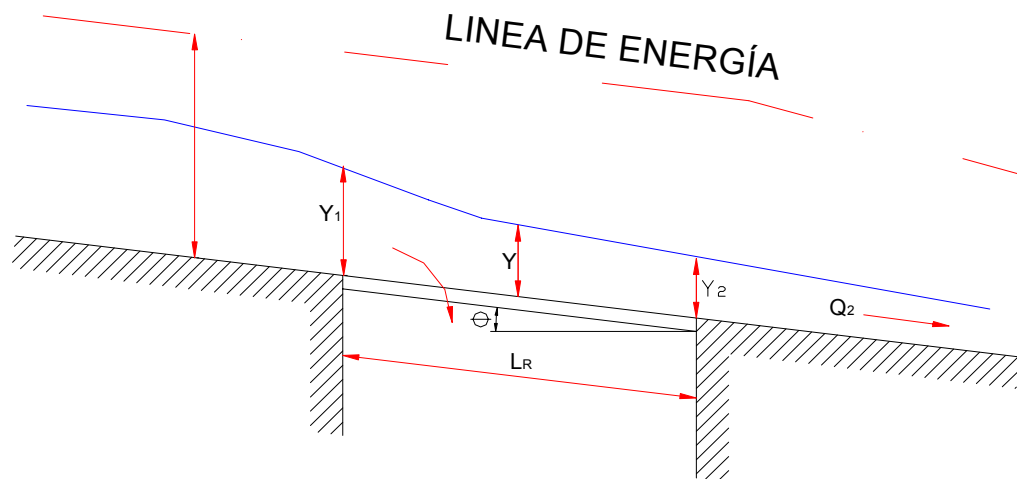
<sup>16</sup> CHOW, V. T, HIDRÁULICA DE CANALES ABIERTOS, Editorial Mc GRAW Hill, 1994.

**Metodología Materón** Materón<sup>15</sup>, propone una metodología extraída de Chow<sup>16</sup>. La metodología considera que un sumidero de rejilla funciona como una reja de fondo y esta constituido por una reja de barras paralelas o de lámina perforada, cuya función principal es la de impedir el paso de material indeseable (sedimento grueso, madera, etc), hacía un sistema de conducción. Para analizar el flujo a través de una reja hay que recurrir a los principios básicos que corresponden al flujo espacialmente variado con disminución de caudal.

Hay dos casos específicos al analizar el flujo a través de rejillas: rejas con poca inclinación (flujo vertical) y rejas con alta inclinación (Flujo inclinado). En ambos casos se puede presentar que el caudal de captación sea total o parcial.

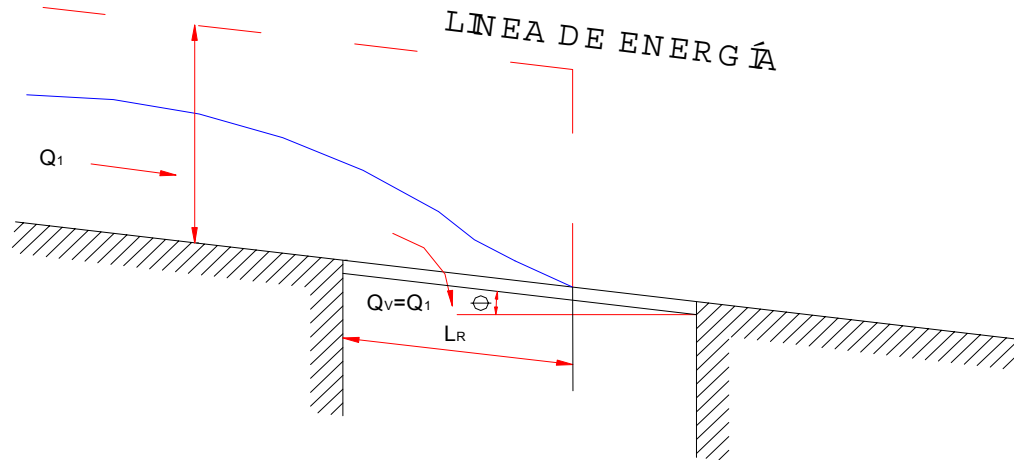
Reja con poca inclinación Vertical Primero hay que determinar el valor de la longitud de la reja ( $L_r$ ) en forma tal que se asegure la captación del caudal requerido. La *figura 4.3* y *4.4* muestran el detalle de una captación con reja de fondo, para una captación parcial y una captación completa respectivamente.

**Figura 4.3 Captación parcial con rejilla de fondo**



Tomado de MATERÓN, Hernán; OBRAS HIDRAULICAS RURALES, Editorial Universidad del Valle, Cali 1997

**Figura 4.4 Captación Total con rejilla de Fondo**



Tomado de MATERÓN, Hernán; OBRAS HIDRAULICAS RURALES, Editorial Universidad del Valle, Cali 1997

Para el caso de rejillas con poca inclinación ( $\theta < 20\%$ ), se considera que la descarga por la rejilla depende de la carga efectiva sobre la misma. Según estudios preliminares de Mostkow expuestos en Subramanya<sup>18</sup>, la carga efectiva en el caso de barras paralelas es prácticamente igual a la energía específica (E); esto se cumple porque el flujo a través de la rejilla es del tipo vertical, ya que el agua fluye sin producir choques bruscos contra los bordes de las aberturas de la reja. Con base en lo anterior, se desprende que la energía específica (E) es constante, luego se tiene que el valor de la carga a través de la longitud (dx) se muestra en la ecuación 4.21.

$$-\frac{dQ}{dx} = e * c * b * \sqrt{2 * g * E} \quad (\text{Ecuación 4.21})$$

Donde:

$dQ / dx$  = Caudal descargado por la rejilla por unidad de longitud, (m<sup>3</sup>/s)/m

e = Relación entre el área de las aberturas y el área total de la rejilla.

c = Coeficiente de descarga a través de las aberturas. Experimentalmente se ha encontrado que el coeficiente de descarga, (c), aumenta si la rejillas tiende a ser horizontal, y disminuye en la medida que se inclina. Lo mismo sucede cuando en vez de rejilla se utiliza lámina perforada; en este último caso, los valores de coeficiente (c) son aún más altos, y varían en el mismo sentido. Materón ilustra un cuadro con las relaciones entre los tipos de rejilla, inclinación con la horizontal ( $\theta$ ), coeficiente de descarga (c) los cuales se ilustran en la *tabla 1 anexo 4*.

b = Ancho total de la reja, (m)

E = Energía específica (m)

El valor se podrá calcular con la *ecuación 4.22*.

<sup>18</sup> SUBRAMANYA K., FLOW IN OPEN CHANNELS, Editorial Mc Graw Hill. New York (1986).

$$Q = b * Y * \sqrt{2g * (E - Y)} \quad (\text{Ecuación 4.22})$$

Donde el valor de (Y) corresponde a la altura del agua sobre la rejilla.  
El valor de la altura del agua (dY) en la dirección dx, se expresa en la ecuación 4.23.

$$\frac{dY}{dx} = \frac{2 * e * c * \sqrt{E * (E - Y)}}{3 * Y - 2 * E} \quad (\text{Ecuación 4.23})$$

Mediante un proceso de integración, se puede deducir para el caso de una captación parcial de caudal, el valor de la longitud de la requerida (x), la cual se muestra en la ecuación 4.24.

$$x = \frac{E}{ec} \left( \frac{Y_1}{E} * \sqrt{1 - \frac{Y_1}{E}} - \frac{Y}{E} * \sqrt{1 - \frac{Y}{E}} \right) \quad (\text{Ecuación 4.24})$$

Donde:

x= Longitud de la rejilla para una altura de agua Y (L=x), (m)

Y<sub>1</sub>= Altura del agua al inicio de la rejilla, (m)

Y= Altura del agua en un punto intermedio o al final de la rejilla (Y=Y<sub>2</sub>), (m)

Para una captación total, o sea cuando Y=0 se utiliza la ecuación 4.25.

$$Lr = \frac{E}{e * c} \left( \frac{Y_1}{E} \sqrt{1 - \frac{Y_1}{E}} \right) \quad (\text{Ecuación 4.25})$$

En términos del caudal de diseño Q<sub>d</sub>, la ecuación 4.25 es equivalente a la mostrada en la ecuación 4.26.

$$Lr = \frac{Q_1}{\left( e * c * b * (2 * g * E)^{\frac{1}{2}} \right)} \quad (\text{Ecuación 4.26})$$

En esta ecuación la energía específica, (m), se calcula a partir de la profundidad crítica (Y<sub>c</sub>) en el canal de aproximación, la cual se muestra en la ecuación 4.27.

$$E = 1.5 * Y_c = \left[ \frac{(Q_1)^2}{g * L^2} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (\text{Ecuación 4.27})$$

Donde:

$$Q_1 = Q_v$$

Materón<sup>30</sup> recomienda dado a que la reja puede obstruirse parcialmente, en la práctica es necesario aumentar el valor teórico Lr para garantizar el caudal de captación Qv.

Reja con alta inclinación (Caudal inclinado) Cuando la inclinación de la reja es significativa ( $\Theta \geq 20\%$ ), se considera que el agua al penetrar a través de las aberturas de la reja choca contra los bordes de la misma, originándose entonces disipación de energía o pérdidas de carga.

Con base en lo anterior, se tiene que la carga estática equivale a la profundidad del aguya sobre la reja; se deduce que el valor de la descarga para estos casos a través de una longitud (dx) de la reja. (Ver ecuación 4.28)

$$-\frac{dQ}{dx} = e * c * b * \sqrt{2 * g * Y} \quad (\text{Ecuación 4.28})$$

La variación de la altura del agua (dy) en la dirección (dx) se indica en la ecuación 4.29.

$$\frac{dY}{dx} = \frac{2 * e * c * \sqrt{Y * (E - Y)}}{3Y - 2E} \quad (\text{Ecuación 4.29})$$

Mediante el proceso de integración, se tiene que la longitud de la rejilla para captar todo el caudal (Lr), se ilustra en la ecuación 4.30.

$$Lr = \frac{E}{ec} * \left( \frac{3}{2} * \sqrt{\frac{Y_1}{E}} \left( 1 - \frac{Y_1}{E} - \frac{1}{4} \text{sen}^{-1} \left\{ 1 - \frac{2 * Y_1}{E} \right\} + \frac{\pi}{8} \right) \right) \quad (\text{Ecuación 4.30})$$

Cálculo del Caudal Para determinar el caudal se recomienda, tanto en condiciones de flujo vertical o inclinado, considerar el comportamiento de este tipo de sumidero como un vertedero de cresta ancha, utilizando la ecuación 4.31.

$$Q = K * b * E^{\frac{3}{2}} \quad (\text{Ecuación 4.31})$$

La ecuación 4.31 es equivalente a la ecuación 4.32 expresada anteriormente.

$$Q = b * y * \sqrt{2g * (E - Y)} \quad (\text{Ecuación 4.32})$$

Donde:

K= 1.56

Se pueden hallar los valores del caudal de entrada Q<sub>1</sub> (ecuación 4.33) y el caudal de salida Q<sub>2</sub> (ecuación 4.34) basándonos en la ecuación 3.25, así:

<sup>30</sup> MATERÓN HERNÁN, Obras Hidráulicas Rurales, Editorial Universidad del Valle, Cali 1997.

$$Q_1 = b * Y_1 * \sqrt{2g * (E - Y_1)} \quad (\text{Ecuación 4.33})$$

$$Q_2 = b * Y_2 * \sqrt{2g * (E - Y_2)} \quad (\text{Ecuación 4.34})$$

El valor del caudal captado ( $Q_v$ ) se ilustra en la *ecuación 4.39* o con la expresión equivalente a la *ecuación 4.40*.

$$Q_v = Q_1 - Q_2 \quad (\text{Ecuación 4.39})$$

$$Q_v = k * b * \left[ 1 - \frac{Y_2 * \sqrt{E - Y_2}}{Y_1 * \sqrt{E - Y_1}} \right] * E^{3/2} \quad (\text{Ecuación 4.40})$$

Cuando  $Q_2=0$ , es decir para el caso de una captación total, el valor  $Q_v=Q_1$ . Por último se recomienda que la rejilla de captación deba estar diseñada para captar el caudal de diseño con un factor de seguridad de 3.0. Lo cual asegura que la rejilla va a cumplir su objetivo aunque estén tapadas dos terceras partes de su área total.

**Metodología de la Johns Hopkins University** La metodología propuesta por la Universidad **Johns Hopkins University** esta basada en las ecuaciones de caída libre, se expresa en el *capítulo 1 sección 1.2.2* y a su vez son las ecuaciones que sirven de base para la metodología empleada actualmente por la CDMB.

**Metodología Universidad de Catalunya** Gómez, González<sup>27 31</sup> docentes de la **Universitat Politècnica de Catalunya**, han establecido una metodología para seleccionar rejillas, entre las rejillas más utilizadas en los sumideros en la ciudad de Barcelona. A petición de la empresa CLABSA (Empresa de gestión de la red de alcantarillado de Barcelona) para esto realizaron varios ensayos de caracterización de la capacidad de captación de varias rejillas a escala real.

A continuación se muestra la base de esta metodología, los resultados de los ensayos de la capacidad de las rejillas y criterios para seleccionar las rejillas.

<sup>27</sup> GÓMEZ, GONZÁLEZ, REVISTA INGENIERÍA CIVIL, N° 114, 1999; CEDEX, Centro de Estudios de Ciencias Aplicadas, Una metodología de selección de Imbornales y cálculo de Caudal captado en viales Urbanos.

<sup>31</sup> GÓMEZ-GONZÁLEZ, MEMORIAS XIX CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA – CORDOBA 2000, Análisis del Comportamiento Hidráulico de Rejas y Sumideros.

Ensayos de la capacidad de las rejillas. Para estudiar el caudal que capta una rejilla, se ensaya a escala real en una plataforma que reproduce las condiciones de la calle y permite variar el caudal de paso y las pendientes longitudinal y transversal. Una fotografía de la plataforma presenta en la *figura 2 del anexo 4*.

Las rejillas que se ensayaron se exhiben en las *figuras 3.13, 3.14, 3.15, 3.16, 3.17, 3.18 del capítulo 3*.

Para todas ellas se obtuvo la capacidad de captación para cada caudal y combinación de pendientes ensayadas. Se ensayaron ocho pendientes longitudinales 0, 0.5, 1, 2, 4, 6, 8 y 10%, cinco pendientes transversales 0, 1, 2, 3 y 4%, y todas las correspondientes combinaciones de las mismas (en total 40 combinaciones) para cada uno de los 5 caudales de estudio. La *tabla 2 anexo 4* muestra las dimensiones de las rejillas ensayadas.

Gómez, González<sup>27 31</sup>, mencionan una serie de conclusiones generales que se extrajeron de los ensayos entre las cuales se enumeran:

La eficiencia de captación de una rejilla depende claramente del caudal circulante y del valor de las pendientes transversal y longitudinal. La variación de pendiente transversal puede aumentar o reducir hasta en un 50% la eficiencia de captación. La pendiente longitudinal tiene gran influencia sobre la eficiencia de captación hasta valores del 2 al 4%. Para pendientes mayores la influencia es mucho menor hasta el punto que podemos considerar que la rejilla mantiene una eficiencia residual casi constante a partir de las pendientes indicadas.

El comportamiento de todas las rejillas es más parecido para los caudales bajos (20 ó 50 l/s), presentándose mayores diferencias en las eficiencias de captación para caudales más altos (mayores de 50 l/s).

Para caudales altos (superiores a los 100 l/s) y pendientes elevadas (superiores al 2-4%) las eficiencias de todas las rejillas ensayadas presentan valores muy bajos, del orden 10 al 15% como máximo.

Los resultados obtenidos corresponden a condiciones de operación incluyendo un pequeño porcentaje debido a transporte de sedimentos. Puestas en la calle y en general si este porcentaje es mayor o menor debido a la posible colmatación total o parcial de los orificios de captación, su eficiencia será menor.

<sup>27</sup> GÓMEZ, GONZÁLEZ, REVISTA INGENIERÍA CIVIL, N° 114, 1999; CEDEX, Centro de Estudios de Ciencias Aplicadas, Una metodología de selección de Imbornales y cálculo de Caudal captado en viales Urbanos.

<sup>31</sup> GÓMEZ-GONZÁLEZ, MEMORIAS XIX CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA – CORDOBA 2000, Análisis del Comportamiento Hidráulico de Rejas y Sumideros.

Calculo del caudal circulante por la calle Para calcular el caudal circulante por la calle, se propone una modificación de la ecuación de Izzard extraída de la ASCE<sup>11</sup> mostrada en la ecuación 3.22. La ASCE<sup>11</sup> menciona que la ecuación de Izzard (ecuación 3.20) no reproduce exactamente la realidad, debido a que la hipótesis de una distribución uniforme de velocidades no se cumple, para solucionar este inconveniente propone la ecuación 3.22.

$$Q = 0.38 * \frac{Z}{n} * S^{\frac{1}{2}} * y^{\frac{8}{3}} \text{ (Ecuación 3.22)}$$

Ajuste lineal del comportamiento de las rejillas El análisis de los datos de los ensayos muestra una relación que en primera aproximación considerada lineal. Ello permite introducir una hipótesis adicional: La eficiencia de captación de una rejilla se puede expresar en función del caudal (Q) circulante por la calle y del nivel de agua y justo aguas arriba de la rejilla. Es decir se supone que (E) en lugar de depender de los tres parámetros variados en el ensayo, el caudal circulante Q y las dos pendientes (Sx) y (Sy), sólo depende de dos, (Q) e (y). En el dato de la profundidad existente en la calle ya están incluidos las influencias de las pendientes longitudinales y transversales, así como también algo del caudal y de la rugosidad de la calle. Pero además, esta hipótesis utilizada conjuntamente con la expresión del nivel de agua en la calle permitirá superar, como se verá, los inconvenientes para utilizar los resultados de los ensayos directamente.

En esta parte de los estudios realizados Gómez-González<sup>27 31</sup> se propone expresar en primera aproximación la eficiencia de captación mediante una relación lineal (ecuación 4.41)  $E = m \cdot y < E_{\text{máx}}$ . Se entiende por  $E_{\text{máx}}$  la eficiencia máxima de captación que se alcanza para cada caudal estudiado. Las variables (m) y ( $E_{\text{máx}}$ ) dependen del caudal  $Q_p$  de paso por la plataforma. Observando que las gráficas “E-y” de las rejillas, los puntos de un mismo caudal de paso se agrupan en torno a una recta, de manera más evidente entre mayor fuera el caudal circulante. Se pudo determinar que a medida que aumenta el caudal de paso por la plataforma, la pendiente m de la relación (E/y) se reduce.

En el estudio se ajusta una función por mínimos cuadrados, (ecuación 4.41) de manera que se puede estimar la pendiente m, que dependía exclusivamente del caudal circulante en forma hiperbólica.

$$E = m * y \text{ (Ecuación 4.41)}$$

$$(Q_p - a) * (m - b) = c^2 \text{ (Ecuación 4.42)}$$

<sup>11</sup> ASCE 1992, DESIGN AND CONSTRUCTION OF URBAN STORMWATER MANAGEMENT SYSTEMS, Manual of Report of Engineering Practice n. 77

<sup>27</sup> GÓMEZ, GONZÁLEZ, REVISTA INGENIERÍA CIVIL, Nº 114, 1999; CEDEX, Centro de Estudios de Ciencias Aplicadas, Una metodología de selección de Imbornales y cálculo de Caudal captado en viales Urbanos.

<sup>31</sup> GÓMEZ-GONZÁLEZ, MEMORIAS XIX CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA – CORDOBA 2000, Análisis del Comportamiento Hidráulico de Rejas y Sumideros.

Los parámetros: a, b y c dependen del tipo de rejilla y no de la calle. La *tabla 3 del anexo 4* ilustra los parámetros de las rejillas ensayados.

*Ajuste parabólico del comportamiento de las rejillas* Después de mejorar el estudio anterior se pudo determinar, observando las gráficas “E-y” de cada rejilla, se logra determinar que los puntos en la curva para un mismo caudal circulante se agrupan mejor en torno a una “ecuación parabólica”, y no a una recta. La *figura 3 anexo 4* muestra el ajuste parabólico realizado de la rejilla tipo IMPU para diferentes caudales. Del mismo modo que las pendientes de las rectas dependían exclusivamente y en forma hiperbólica del caudal circulante, los parámetros “A” y “B” de la ecuación de ajuste parabólica también dependen exclusivamente del caudal circulante y en forma hiperbólica, por lo cual se propone el ajuste (*ecuación 4.43*).

$$E = A * y^2 + B * y \quad (\text{Ecuación 4.43})$$

Donde:

E= Eficiencia de la reja.  $E = \frac{Q_{\text{captado}}}{Q_{\text{circulante}}}$

y= Profundidad del agua sobre la rejilla (mm)

A= parámetro.  $A = -\left(\frac{c^2}{Q - a} + b\right)$  (*Ecuación 4.44*)

B= parámetro.  $B = \frac{c^2}{Q - a'} + b'$  (*Ecuación 4.45*)

Q= caudal circulante por la calle (l/seg)

a,b,c,a'.b',c', parámetros que dependen del tipo de rejilla. (Los valores se pueden apreciar en la *tabla 4 del anexo 4*).

Este ajuste dio muy buenos resultados, pero el hecho de tener que realizar dos ajustes (parabólico para la eficiencia e hiperbólico para los coeficientes de la parábola) lo convierte en un ajuste largo y complejo. Debido a esta razón Gómez-González<sup>27 31</sup> deciden buscar otro ajuste que modelara el comportamiento de las rejillas.

*Ajuste potencial del comportamiento de las rejillas* En esta fase del estudio Gómez-González<sup>31</sup> proponen un ajuste entre la eficiencia de captación (E) y el coeficiente de (Q/y). Estudios anteriores realizados por Spaliviero<sup>32</sup>, sugieren un ajuste de tipo lineal. Gómez-González<sup>31</sup> proponen una relación de tipo potencial debido a los resultados obtenidos en los ensayos. Dicha relación de ajuste potencial se presenta en la *ecuación 4.46*.

<sup>27</sup> GÓMEZ, GONZÁLEZ, REVISTA INGENIERÍA CIVIL, N° 114, 1999; CEDEX, Centro de Estudios de Ciencias Aplicadas, Una metodología de selección de Imbornales y cálculo de Caudal captado en viales Urbanos.

<sup>31</sup> GÓMEZ-GONZÁLEZ, MEMORIAS XIX CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA – CORDOBA 2000, Análisis del Comportamiento Hidráulico de Rejas y Sumideros.

<sup>32</sup> SPALIVIERO, F & R.W.P. May & Escaramela, M. (1999), Spacing of Road Gullies. Hydraulic performance of BS EN 124 gully gratins. HR Wallingford Report SR533.

$$E = A * \left( \frac{Q}{y} \right)^{-B} \quad (\text{Ecuación 4.46})$$

Donde:

E= Eficiencia de captación de la rejilla

Q= Caudal circulante por la calle (l/s)

y= Profundidad del agua inmediatamente antes de la rejilla (mm)

A, B= Parámetros de ajuste.

La *tabla 4 anexo 3* muestra los valores de “A” y “B” determinados por la *ecuación 4.46*.

Esta aproximación (*ecuación 4.46*) es más sencilla y más fácil de utilizar que las anteriores (*ecuaciones 4.42, 4.43, 4.44, 4.45*).

Gómez–González<sup>31</sup> vieron la necesidad de extender este análisis a las rejillas que no fueron ensayadas, para ello se buscaron una relación entre los parámetros(A) y (B) del ajuste potencial, con las características geométricas de las rejillas. Después de varios intentos Gómez-González<sup>31</sup> proponen una ecuación funcional, la cual se expresa en la *ecuación 4.47* y *ecuación 4.48*.

$$A = \frac{0.39}{A_g^{-0.35} \cdot p^{-0.13}} * (n_t + 1)^{0.01} * (n_l + 1)^{0.11} * (n_d + 1)^{0.03} \quad (\text{Ecuación 4.47})$$

$$B = 0.36 * \frac{long}{ancho} \quad (\text{Ecuación 4.48})$$

Donde:

$A_g$  = Área que engloba todos los huecos

p = porcentaje del área de huecos respecto al área que los engloba a todos.

El valor de p se define en la *ecuación 4.49*.

$$p = \frac{A_H}{A_g} * 100 \quad (\text{Ecuación 4.49})$$

$n_t$ = Número de barras transversales

$n_l$ = Número de barras longitudinales

$n_d$ = Número de barras diagonales

long= longitud de la rejilla

ancho= Ancho de la rejilla

El estudio realizado expresa que este ajuste modeliza perfectamente el comportamiento de las rejillas con un rango de valores, en sus características geométricas, similar a las ensayadas.

Calculo del coeficiente de descarga de la rejilla. Ranking de rejillas atendiendo a su capacidad de captación. El estudio realizado por Gómez-González<sup>31</sup> menciona que se pone en manifiesto las ventajas de una rejilla con respecto a otra, pero en términos absolutos. En los ensayos se pudo determinar que la reja Interceptora capta mayor caudal que la rejilla R-121 o la rejilla Impu, pero ello puede ser debido a que la rejilla Interceptora es más grande y no a un diseño hidráulico mejor. De acuerdo a los estudios realizados por Mostkow expuestos en Subramanya<sup>18</sup>, en los cuales se presenta una expresión (ecuación 4.50) de flujo unidimensional de orificio, para aproximar el caudal captado de una rejilla.

$$Q = C_d * \varepsilon * A_T * \sqrt{2 * g * E} \quad (\text{Ecuación 4.50})$$

Si todas las rejillas tuvieran igual área de huecos, igual flujo de aproximación, el mayor o menor caudal captado sería función del coeficiente de descarga de cada rejilla. A partir de los datos del ensayo, se dispone para cada rejilla los valores de Q, caudal captado,  $\varepsilon$ , fracción de huecos,  $A_T$ , área total de la rejilla y (E), energía del caudal circulante, luego se puede calcular el valor de  $C_d$ , coeficiente de descarga para cada rejilla y para una combinación geométrica de pendientes de cada calle, asumiendo un flujo unidimensional espacialmente variado sobre la rejilla.

La metodología asume un coeficiente de descarga representativo para cada rejilla.

A partir de la ecuación 4.50 pudieron establecer un ranking de rejillas, de mayor a menor capacidad de captación, atendiendo al diseño hidráulico que favorezca la capacidad de captación. Este ranking pone en manifiesto cual es la mejor de las formas hidráulicas para cada rejilla de captación.

El estudio muestra como resultado un ranking entre las rejillas ensayadas calculando el coeficiente de descarga correspondiente, asumiendo un flujo unidimensional espacialmente variado con cada rejilla. El estudio menciona que el coeficiente de descarga  $C_d$ , es prácticamente constante con la pendiente longitudinal. El resultado de dicho ranking es el siguiente:

1ª) E-25            2ª) Ebro            3ª) Impu            4ª) Interceptora  
 5ª) (2) Interceptoras en paralelo    6ª) R-121    7ª) (2) Interceptoras en serie

<sup>18</sup> SUBRAMANYA K., FLOW IN OPEN CHANNELS, Editorial Mc Graw Hill. New York (1986).

<sup>31</sup> GÓMEZ-GONZÁLEZ, MEMORIAS XIX CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA – CORDOBA 2000, Análisis del Comportamiento Hidráulico de Rejas y Sumideros.

**Metodología Americana** La Texas Department of Transportation<sup>6</sup> menciona diversos factores que influyen en la eficiencia de captación de estos tipos de sumideros entre los cuales se encuentran: la geometría de las rejillas, pendiente transversal y longitudinal del pavimento, caudal total en la vía, profundidad del flujo y rugosidad del pavimento.

La profundidad del agua medida en el andén o acera, es el principal factor que afecta la capacidad de captación de estos tipos de sumideros. A velocidades bajas toda el agua que esta fluyendo en la sección ocupada por la rejilla es interceptada, se denomina flujo frontal aunque la rejilla también logra interceptar una pequeña porción del flujo a lo largo de la longitud de la rejilla denominado flujo lateral. Cuando las pendientes son escarpadas, solo una porción el flujo total será interceptada, si la velocidad del flujo es alta o la rejilla es pequeña el agua tiende a pasar por encima de la rejilla.

La Texas Department of Transportation<sup>6</sup>, expresa que para rejillas de 2 (pies) o 0.6 (m), el caudal interceptado por la rejilla es bajo. A continuación se muestran una serie de ecuaciones experimentales desarrolladas por la FHWA<sup>5 19</sup>, para las rejillas mostradas en las *figuras 3.19, 3.20, 3.21, 3.22, 3.23, 3.24 del capítulo 3.*

La FHWA<sup>19</sup> expresa como determinar el valor de la relación ( $E_o$ ) entre el caudal frontal y el caudal total circulante por la sección de la vía, lo cual se expresa en la *ecuación 4.51.*

$$E_o = \frac{Q_w}{Q} = 1 - \left(1 - \frac{W}{T}\right)^{2.67} \quad (\text{Ecuación 4.51})$$

Donde:

Q= Caudal total que circula en la sección de la vía (m<sup>3</sup>/s)

Q<sub>w</sub>= Caudal en el ancho W. (m<sup>3</sup>/s)

W= Ancho de la depresión de la sección o de la rejilla (m)

T= Ancho total de inundación en la sección de la vía (m)

La relación entre el caudal cercano a la rejilla (Q<sub>s</sub>) y el caudal total (Q<sub>T</sub>) se puede apreciar en la *ecuación 4.52.*

$$\frac{Q_s}{Q} = 1 - \frac{Q_w}{Q} = 1 - E_o \quad (\text{Ecuación 4.52})$$

<sup>5</sup> FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, (FHWA), Urban Drainage Design Manual, HEC 22, 1996

<sup>6</sup> TEXAS DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, Hydraulics and Design Manual, 2002

<sup>19</sup> FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, (FHWA), Drainage of Highway Pavements, Hec-12, 1984

La relación entre el caudal frontal interceptado y el caudal total ( $R_f$ ) se expresa en la *ecuación 3.54*.

$$R_f = 1 - K_c * (V - V_o) \quad (\text{Ecuación 4.53})$$

Donde:

$K_c = 0.295$  para unidades métricas

$V =$  Velocidad del flujo en la sección de la vía (m/s)

$V_o =$  Velocidad del flujo cuando el agua sobrepasa la rejilla sin ser captada (m/s)

El valor de  $R_f$  no puede exceder el valor de 1.0.

La relación del flujo interceptado cercano a la rejilla y el flujo total cercano a la rejilla se muestra en la *ecuación 4.54*.

$$R_s = \frac{1}{\left(1 + \frac{K_c * V^{1.8}}{S_x * L^{2.3}}\right)} \quad (\text{Ecuación 4.54})$$

Donde:

$K_c = 0.0828$  para unidades métricas

La FHWA expresa que el desarrollo de estas ecuaciones empíricas presenta algunas pequeñas deficiencias, debido a que fueron obtenidas con datos experimentales para valores del ancho del agua igual al ancho de la rejilla; dichas ecuaciones no consideran un factor para cuando el flujo lleva velocidades bajas y el ancho del agua supera ligeramente el ancho de la rejilla. Aunque expresa que el error producido por esa deficiencia, es muy pequeño y que al contrario cuando hay velocidades altas, el caudal interceptado cercano a la rejilla puede ser omitido sin errores significativos.

La Eficiencia ( $E$ ) de la rejilla es expresada en la *ecuación 4.55*.

$$E = R_f * E_o + R_s * (1 - E_o) \quad (\text{Ecuación 4.55})$$

Donde:

$E_o =$  Es la relación entre el caudal frontal interceptado y el caudal total en la sección de la vía.

$R_s * (1 - E_o) =$  Es la relación del caudal interceptado cercano a la rejilla con el caudal total interceptado al lado de la rejilla, este término es insignificante cuando las velocidades son altas.

La eficiencia de captación de un sumidero de rejillas es igual a la eficiencia de la rejilla multiplicada por el caudal total en la sección de la vía. (Ver ecuación 4.56)

$$Q_l = E * Q = Q * [R_f * E_o + R_s * (1 - E_o)] \quad (\text{Ecuación 4.56})$$

Consideraciones para la selección del tipo de rejilla. Para la selección del tipo de rejilla se deben considerar factores tales como la eficiencia hidráulica, la capacidad de retener desechos, la seguridad para el peatón, para las bicicletas y cierta capacidad de carga.

La FHWA ha estudiado la eficiencia de las rejillas mostradas para las rejillas mostradas en las *figuras 3.19, 3.20, 3.21, 3.22, 3.23, 3.24 del capítulo 3*. Estudios realizados por la FHWA<sup>19</sup> enuncian que la rejilla P-50 (*figura 3.19*) es hidráulicamente superior a las otras, pero no se considera segura para las bicicletas, las rejillas curvadas en forma de veleta (*figura 3.21*) y las rejillas P-30 (*figura 3.20*) tienen buenas características hidráulicas con flujos a alta velocidad, las otras rejillas como honeycomb (*figura 3.24*) y barras inclinadas 45°-60 (*figura 3.22*) son hidráulicamente eficaces a velocidades más bajas. La *tabla 6 del anexo 4* hace un ranking de rejillas de acuerdo a la seguridad del peatón y de las bicicletas, dicha tabla fue determinada en los laboratorios de la FHWA y publicados en FHWA<sup>20</sup>. Todas las rejillas son seguras para la seguridad de las bicicletas excepto la P-50. Las cargas a soportar por las rejillas también deben ser consideradas para determinar el tipo de rejilla.

En las áreas con alto volumen de tráfico, las rejillas deben soportar cargas de tráfico al contrario de áreas campestres donde no se necesita que las rejillas sean tan rígidas.

**4.3.2 Sumideros de Rejillas en puntos bajos** La Texas Department of Transportation<sup>6</sup> recomienda un procedimiento de diseño para los sumideros de rejillas cuando estos están ubicados en puntos bajos. El procedimiento se basa en que la rejilla en un punto bajo funciona como un vertedero o como un orificio, dicho procedimiento se muestra a continuación:

- 1) Elegir la rejilla a utilizar
- 2) Determinar la altura permisible para la localización de este sumidero.
- 3) Determinar la capacidad del sumidero que funciona como vertedero. Bajo estas condiciones el perímetro de la rejilla controla la capacidad. La *figura 4.5* muestra el valor del perímetro de un sumidero de rejilla ubicado o no al lado del andén. La capacidad de un vertedero operando como un vertedero se muestra en la *ecuación 4.57*.

$$Q_w = C_w * P * h^{\frac{3}{2}} \quad (\text{Ecuación 4.57})$$

<sup>19</sup> FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, (FHWA), Drainage of Highway Pavements, Hec-12, 1984

<sup>6</sup> TEXAS DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, Hydraulics and Design Manual, 2000

<sup>20</sup> FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, (FHWA), Bicycle-Safe Grate Inlets Study, Vol. 1 & Vol. 2, June 1977 and April 1978, Final Report. Hydraulic and Safety Characteristics of Selected Grate Inlets on Continuous Grades

Donde:

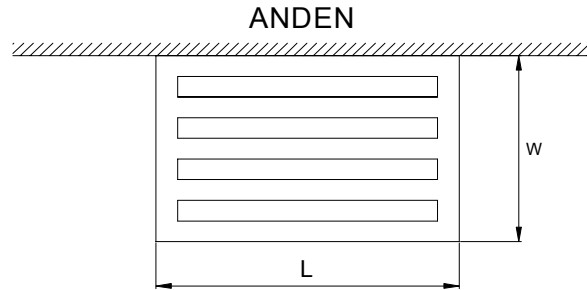
$Q_w$  = Capacidad del sumidero funcionando como vertedero ( $m^3/s$ )

$C_w$  = Coeficiente del vertedero = 1.66 en unidades métricas

$P$  = perímetro de la rejilla, según lo mostrado en la *figura 4.5*. Un factor multiplicador de cercano a 0.5 se recomienda ser aplicado al perímetro medido como factor de seguridad.

$h$  = Cabeza de altura permisible sobre la rejilla (m)

**Figura 4.5 Perímetro de la rejilla**



Tomado de TEXAS DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, Hydraulics and Design Manual,  
2002

Quando esta adyacente al andén

$$P = 2 \cdot (W - \text{ancho de las barras}) + L$$

Quando no tiene andén adyacente

$$P = 2 \cdot (W + L - \text{barras})$$

$$A = W * L - \text{area de las barras}$$

4) Determinar la capacidad del sumidero de rejilla cuyo flujo pasa a través del orificio. El caudal a través del orificio se puede determinar con la *ecuación 4.58*.

$$Q_0 = C_0 * A * \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (\text{Ecuación 4.58})$$

Donde:

$Q_0$  = Capacidad de la rejilla ( $m^3/s$ )

$C_0$  = Coeficiente del orificio, valor recomendado 0.67

$A$  = Área de las aberturas de la rejilla ( $m^2$ ) de la rejilla, área total disponible para el flujo. Se recomienda aplicar un factor multiplicador de 0.5 aplicado al área medida como factor de seguridad

$g$  = Aceleración de la gravedad ( $9.81 m/s^2$ )

$h$  = Cabeza de altura permisible del flujo sobre la rejilla (m)

5) Comparar los valores obtenidos en los pasos 3 y 4, compararlos y tomar el valor menor, como capacidad de diseño. La capacidad de diseño de un sumidero de rejillas en un punto bajo se basa en el mínimo flujo calculado bajo las condiciones de vertedero o orificio. En la *figura 4 del anexo 4* se muestra una relación entre el flujo del sumidero cuando esta operando como

orificio o como vertedero. Si  $Q_0$  es mucho más grande que  $Q_w$ , a la izquierda de la *figura 4 del anexo 4*, entonces como diseñador se debe utilizar la *ecuación 4.57* de la capacidad del vertedero. Sin embargo, si  $Q_0$  es menor que  $Q_w$  a la derecha de la intersección entonces la *ecuación 4.58* de orificio se debe utilizar.

#### 4.4 HIDRÁULICA DE LOS SUMIDEROS RANURADOS

La acumulación de desechos en los tubos de los sumideros ranurados, es el principal problema que influye en el diseño de este tipo de estructuras. Aunque no existen ensayos de la cantidad de desechos que pueden manejar estas estructuras, su configuración hace que puedan ser limpiadas con agua a alta presión.

Los sumideros ranurados son muy eficaces y además tiene gran variedad de usos, pueden ser utilizados en secciones limitadas o no, por andenes y su principal característica es que no afectan el tráfico.

La capacidad de captación de un sumidero ranurado es muy similar a la de un sumidero lateral, ambos trabajan como un sumidero lateral y el flujo esta sujeto a la aceleración lateral debido a la pendiente del pavimento. La FHWA ha hecho pruebas con sumideros ranurados, con ancho de ranuras  $\geq$  a 45 mm. Estos estudios indican que la longitud requerida para captar todo el flujo, se puede determinar con la *ecuación 4.59*, la cual se utilizó para determinar la longitud en sumideros laterales (o de ventana)

$$L_T = K_c * Q^{0.42} * S_Y^{0.3} \left( \frac{1}{n * S_X} \right)^{0.6} \quad (\text{Ecuación 4.59})$$

Donde:

$K_c = 0.817$  (0.6 en unidades inglesas)

$L_T =$  longitud requerida para captar el 100% del flujo en el canal (m)

$S_Y =$  Pendiente longitudinal

$Q =$  Caudal Total en el canal o vía ( $m^3/s$ )

De manera similar a la de los sumideros laterales, la eficiencia de estos tipos de sumideros es expresada en la *ecuación 4.60*, la cual fue empleada en los sumideros laterales (o de ventana)

$$E = 1 - \left( 1 - \frac{L}{L_T} \right)^{1.8} \quad (\text{Ecuación 4.60})$$

Donde:

$L =$  Longitud real del sumidero (m)

En la *figura 5 anexo 4* se puede apreciar una solución gráfica de la Eficiencia de un sumidero ranurado presentada en la *ecuación 4.60*. Gráfico que es similar a la *figura 1 del anexo 4*, el cual nos determinaba la eficiencia

de un sumidero lateral (o de ventana) esto se debe a que los comportamientos son similares.

#### 4.5 HIDRÁULICA DE LOS SUMIDEROS COMBINADOS

Se entiende por sumideros combinados, a un tipo de sumidero compuesto por una rejilla y una abertura lateral. Para calcular la capacidad de estos tipos de sumideros, hay que considerar la ubicación relativa de los mismos y las variables determinantes de la capacidad de cada uno.

**4.5.1 Metodología Bolinaga (INOS Venezuela)** Bolinaga<sup>7</sup> propone una metodología que consiste en sumar juiciosamente los caudales de entrada. Es decir calcularlos por separado y sumar los  $Q_1$  obtenidos. El cálculo debe hacerse con condiciones de aproximación diferentes. Hay que considerar siempre un factor de seguridad, debido a que no se puede determinar con exactitud el verdadero caudal de entrada. Debe recordarse que para hacer estas determinaciones se deben cumplir todas las implicaciones, que los dos sumideros que conforman el sumidero combinado tienen. La metodología que utiliza Bolinaga<sup>7</sup> tiene como base la metodología propuesta por la **Jhons Hopkins University**, para sumideros laterales y transversales mostradas en el capítulo 1. A continuación se muestra un breve procedimiento propuesto por Bolinaga<sup>7</sup>.

-Se determina los factores hidráulicos del régimen de aproximación tales como  $Y_A$ ,  $Q_A$  y  $V_A$ .

- Se determina el caudal captado por el sumidero lateral (Ver capítulo 1 sección 1.2.1)

- Se determina el valor de la eficiencia de captación para el sumidero lateral

$E = \frac{Q_i}{Q_A}$ , para el valor determinado de pendiente transversal ( $S_x$ ).

- Se estima el caudal que supera el sumidero lateral, con la ecuación 4.61.

$$Q_{S1} = Q_A - Q_i * E \text{ (Ecuación 4.61)}$$

- Se calcula una nueva altura del caudal que superó la rejilla.

- Bolinaga establece que debido a la pendiente, se debe trabajar como límite de efectividad de la rejilla una profundidad promedio ( $y_p$ ), la cual se determinaría como se indica en la ecuación 4.62.

$$y_p = y - \frac{S_x * B}{2} \text{ (Ecuación 4.62)}$$

<sup>7</sup> BOLINAGA J.J., Drenaje Urbano, Instituto Nacional de Obras Sanitarias de Venezuela, (1979)

Donde (y) es la determinada en el paso anterior y B el ancho de la rejilla que depende de la posición en la que se halla colocado la rejilla o longitudinal o transversal.

-Se determina la longitud total de la rejilla para captar todo el caudal que sobrepasa el sumidero lateral. Para esto se utiliza la *ecuación 1.7* del *capítulo 1 sección 1.2.2*.

**4.5.2 Metodología (FHWA)** La (FHWA)<sup>5</sup> establece una metodología para determinar captación de los sumideros combinados, la cual se basa en un supuesto de que en un sumidero combinado, tiene dos puntos de predominio, la primera es la abertura lateral es la parte aguas arriba de de la rejilla y la segunda es que cuando el flujo de aproximación llega a la rejilla, lo predomina es la esta.

Esta metodología, no presenta ninguna información si la rejilla y la ventana son iguales la rejilla y la ventana.

A continuación se presentan sus características más importantes. Teniendo los siguientes datos debido a la geometría de las calles y al tipo de rejilla a utilizar.

Datos:

W= Ancho de la rejilla (m)

Q= Caudal circulante (m)

Sy= Pendiente longitudinal (m/m)

Sx= Pendiente transversal (m/m)

n= Coeficiente de rugosidad de Manning

Se establece la longitud util del sumidero lateral como la diferencia entre la longitud del sumidero lateral y la longitud de la rejilla. (Ver *ecuación 4.63*)

$$L_C = L_L - L_R \quad (\text{Ecuación 4.63})$$

L<sub>C</sub>= Longitud del sumidero lateral aguas arriba de la rejilla (m)

L<sub>L</sub>= longitud del sumidero lateral (m)

L<sub>R</sub>= Longitud de la rejilla (m)

- La captación lateral se hace como se mostró en este capítulo sección 4.2.1.2 metodología de la FHWA. El caudal que sobrepasa la abertura lateral, es que llega a la rejilla. Aquí se utiliza el procedimiento explicado en este capítulo en la sección 4.3.1 metodología americana.

<sup>5</sup> FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, (FHWA), Urban Drainage Design Manual, HEC 22, 1996

**4.5.3 Sumideros combinados en puntos bajos** Los sumideros combinados son recomendables en puntos bajos donde se acumula el agua. El sumidero lateral en este caso es de igual longitud que el ancho de la rejilla, o la longitud es igual al ancho de varias rejillas. Usualmente se suele colocar un sumidero lateral más largo que la rejilla, esto con el fin de que el sumidero lateral pueda interceptar cualquier tipo de de desecho que puedan estorbar la eficiencia de captación de la rejilla. Dicha disposición de los sumideros se suelen denominar “**sweeper inlets**” o sumideros limpiadores. Los sumideros limpiadores o “**sweeper inlets**” suelen ser más eficientes que los sumideros combinados de igual longitud de rejilla y de sumidero lateral. La capacidad de captación de un sumidero combinado de igual longitud es igual a la capacidad de captación de la rejilla cuando esta funcionando como vertedero.

Cuando el sumidero esta trabajando como un orificio es decir cuando esta sumergido la capacidad de captación es la suma de la capacidad de captación de la rejilla con la capacidad de captación de el sumidero lateral. Los valores se muestran en la *ecuación 4.63*.

$$Q_i = 0.67 * A_g * (2 * g * d)^{0.5} + 0.67 * h * L * (2 * g * d_0)^{0.5} \quad (\text{Ecuación 4.63})$$

Donde:

$A_g$  = Área de las aberturas de la rejilla ( $m^2$ ) de la rejilla, área total disponible para el flujo ( $m^2$ )

$g$  =  $9,81 \text{ m/s}^2$

$d$  = profundidad del agua en la acera o andén (m)

$h$  = altura de a abertura del sumidero lateral (m)

$L$  = longitud del sumidero lateral (m)

$d_0$  = la profundidad efectiva en el centro del orificio de la abertura del sumidero lateral (m)

Se deben utilizar procesos iterativos con las *ecuaciones 4.57 y 4.58* del presente capítulo sección 4.32.

## **4.6 DEFINICIÓN DE LOS POSIBLES TIPOS DE SUMIDEROS A USARCE EN BUCARAMANGA**

Es necesario en Bucaramanga establecer correcciones en los parámetros del diseño actual de los sumideros, pues no se esta diseñando de manera correcta estos, así como introducir parámetros para el diseño de otros tipos de sumideros que podrían servir de solución a mejorar la captación de la escorrentía superficial. Además se debe establecer una metodología cuando los sumideros actualmente en uso se encuentran ubicados en puntos bajos.

**4.6.1 Sumideros laterales** En la actualidad en la ciudad de Bucaramanga se está utilizando una serie de curvas para diseño de sumideros laterales, las cuales fueron diseñadas para ciertas características hidráulicas de estos,

entre las cuales están: el ancho del tragante de captación, la pendiente en la depresión adyacente y altura de esta depresión.

Con el tiempo se han introducido cambios significativos a las características hidráulicas de estos sumideros sin tener en cuenta que las curvas de diseño están en función de dichas características y que cualquier cambio en estas, significaría también un cambio en las curvas de diseño pues los valores de longitud necesaria para captar todo el caudal circulante determinados con estas curvas no serían los reales.

Los sumideros que se diseñan actualmente mostradas en CDMB<sup>3</sup>, pueden seguir siendo utilizados, pues su diseño estructural es correcto. Se deben cambiar las curvas de diseño hidráulico de estos, pues dichas curvas fueron diseñadas con diferentes características hidráulicas de los actuales en funcionamiento. Es importante mencionar que cualquier cambio en las características hidráulicas de las estructuras de estos sumideros, requeriría realizar nuevas curvas para estos sumideros con nuevas características, las cuales deben incluir consideraciones acerca de las barras que estos poseen, así como del transporte de sedimentos y de basuras transportados por la escorrentía superficial.

Los sumideros laterales diseñados actualmente son:

*SL-200*: Sumidero Lateral con 2 m de captación

*SL-400*: Sumidero Lateral con 4 m de captación

*SL-600*: Sumidero Lateral con 6 m de captación

Las características hidráulicas de estos mostradas en CDMB<sup>3</sup> son:

- Tragante ( $W$ ) = 0.6 metros
- Altura de la depresión ( $a$ ) = 0.048 metros
- Pendiente de la depresión = 8%.

**4.6.2. Sumideros de rejilla** Se debe implementar el uso de sumideros de rejillas, utilizando las rejillas elaboradas actualmente por la CDMB, con disposición en serie, pues a veces la disposición en paralelo utilizada en los sumideros transversales puede a veces no ser necesaria y produce interferencia en el tráfico vehicular.

En el capítulo 5, se realiza un Ranking entre las rejillas usadas en la ciudad de Bucaramanga basados en el coeficiente de descarga de estas, esta metodología fue propuesta en Gómez-González<sup>31</sup>.

<sup>3</sup> CDMB, Normas Técnicas para diseño y presentación de proyectos de Alcantarillado, Convenio Sena\_Camacol, 2000

<sup>31</sup> GÓMEZ-GONZÁLEZ, MEMORIAS XIX CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA – CORDOBA 2000, Análisis del Comportamiento Hidráulico de Rejas y Sumideros.

**4.6.2.1. Sumideros transversales** El uso de este tipo de sumideros en la ciudad debe tener la continuidad actual, debido a que algunos sectores de la ciudad así como sus alrededores están ubicados en zonas con una pendiente pronunciada, la cual hace que los sumideros laterales sea insuficiente. Bolinaga<sup>7</sup> recomienda que los sumideros laterales en lo posible no deben ser usados en zonas cuya pendiente longitudinales mayores al 5% y anchos de inundación menores de 3 metros.

Los problemas que afectan los sumideros transversales en la actualidad son los siguientes:

- Se utilizan los sumideros transversales, con rejillas diferentes y con una disposición que no es la apropiada mostrada en el diseño original propuesto por Hidroestudios<sup>21</sup>. Aquí se recomendaba que las barras de las rejillas debieran ir en la dirección del flujo y no atravesadas.
- Se utilizan en los sumideros transversales, rejillas como la tipo liviano, las cuales no se mencionan en Hidroestudios<sup>21</sup>.
- En la metodología utilizada actualmente no se considera obstrucción debido a basuras y sedimentos que son inevitables en la realidad.
- Se construyen los sumideros transversales con las rejillas reglamentadas en la ciudad las cuales fueron diseñadas para soportar el tipo de tráfico a circular en las vías, esto hace que algunas tengan más o menos área, lo cual repercute en la captación de dichos sumideros.

**4.6.3 Sumideros combinados** El uso de sumideros combinados debe implementarse debido a que mejora la capacidad del sumidero lateral, en pendientes superiores al 5% y reduce la ocupación en la calzada del sumidero transversal y de rejillas.

Se propone utilizar como base los sumideros, laterales utilizados en Bucaramanga y las rejillas tipo liviano, tipo semipesado y tipo pesado. Los sumideros tendrían un sumidero lateral de longitud superior a las rejillas y la rejilla ubicada el final del lateral.

## 5. METODOLOGÍA DE DISEÑO

### 5.1 ESTIMACIÓN DEL CAUDAL CIRCULANTE

Uno de los problemas graves al diseñar los sumideros es estimar la porción de la lluvia que se convierte en escorrentía, pues si no se hace correctamente se está diseñando una estructura para otras condiciones de flujo de aproximación. Del éxito de esta estimación puede depender en gran parte la captación de las obras de drenaje diseñadas. Se propone utilizar un método para determinar el caudal de escorrentía un método que no posea tantas deficiencias como las que en la actualidad posee el método racional, pues parte del problema de la captación de los sumideros se debe a una mala estimación de la porción de lluvia que se convierte en escorrentía. El método de la (NRCS) podría ser una buena alternativa. El método calcula el volumen de escorrentía a partir de una lluvia de diseño. Por lo tanto se requiere de un proceso posterior para el cálculo de la escorrentía directa, para esto se debe utilizar el método de la SCS del hidrograma unitario, los cuales fueron explicados en detalle en el capítulo 3.

Este método es más sofisticado que el método racional debido a que tiene algunas consideraciones que el método racional no tiene en cuenta como son:

Distribución en el tiempo de la lluvia, pérdidas iniciales de la lluvia, por la intersección y por el almacenamiento del agua en las depresiones y una tasa de infiltración que decrece en el transcurso de la tormenta. (Ver capítulo 3 sección 3.1.5.2).

En este proyecto no se va a entrar en detalle en la utilización de este método pues es un proyecto más que todo basado en el análisis del comportamiento hidráulico de los sumideros.

### 5.3 CAPACIDAD HIDRÁULICA DE LAS CALLES

Para determinar la capacidad Hidráulica de las calles se utilizará la ecuación 3.22 expresada en ASCE<sup>11</sup>, la cual es una modificación de la ecuación de Izzard.

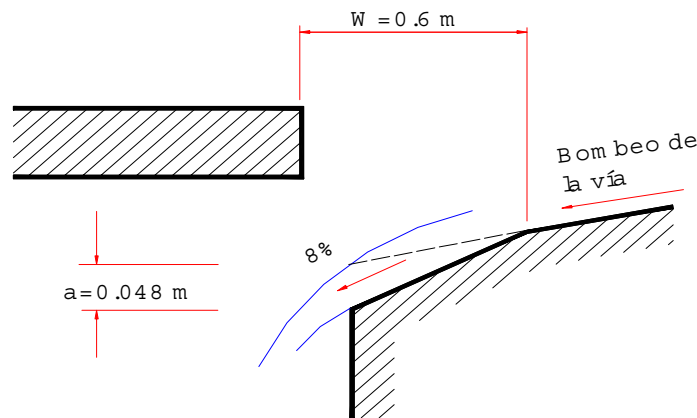
$$Q = 0.38 * \frac{Z}{n} * S_Y^{\frac{1}{2}} * Y^{\frac{8}{3}} \text{ (Ecuación 3.22)}$$

### 5.3 SUMIDEROS LATERALES

Las características hidráulicas de los sumideros analizados son las mostradas en la figura 5.1 los cuales fueron reglamentados en la reforma de las "Normas Técnicas para el diseño y presentación de proyectos de Alcantarillado del año 2000" y sus detalles se aprecian en las figuras 7, 8, 9, 10, 11 del anexo 3.

<sup>11</sup> ASCE 1992, DESIGN AND CONSTRUCTION OF URBAN STORMWATER MANAGEMENT SYSTEMS, Manual of Report of Engineering Practice n. 77

**Figura 5.1 Detalle de las características hidráulicas de los sumideros laterales propuestos**



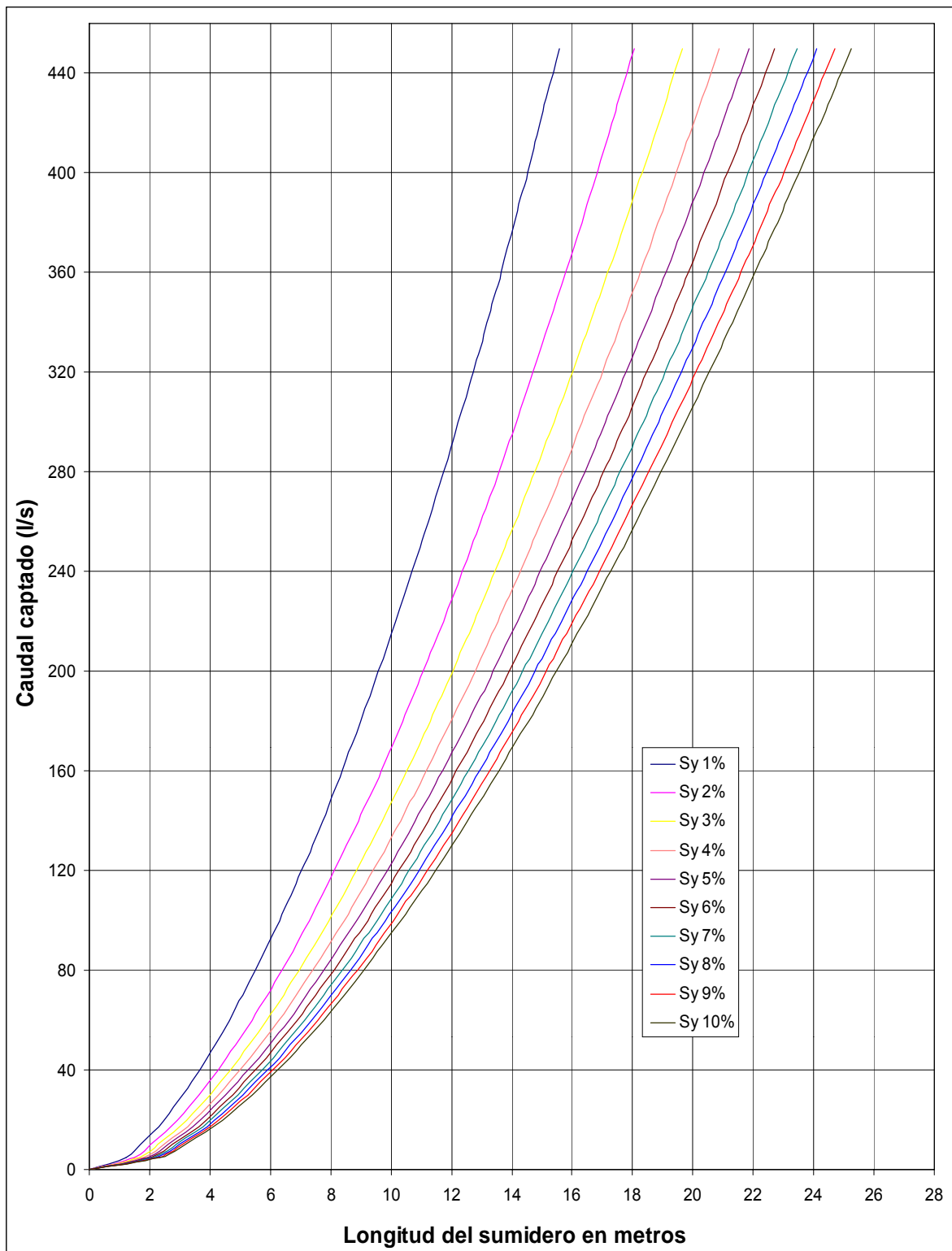
**5.3.1 Estimación de las curvas de diseño (Captación en ruta)** Para estimar las curvas de diseño de sumideros laterales se utilizará la metodología de la FHWA<sup>5</sup>, explicada en el capítulo 4, la cual establece para sumideros laterales con depresión adyacente, que estos se pueden analizar encontrando una pendiente equivalente ( $S_e$ ) (ecuaciones 4.8, 4.9, 3.24, 3.25, 3.26), entre la pendiente transversal del pavimento y la pendiente de la depresión.

La longitud necesaria por el sumidero lateral para captar todo el caudal circulante en la vía se expresa en la ecuación 4.10.

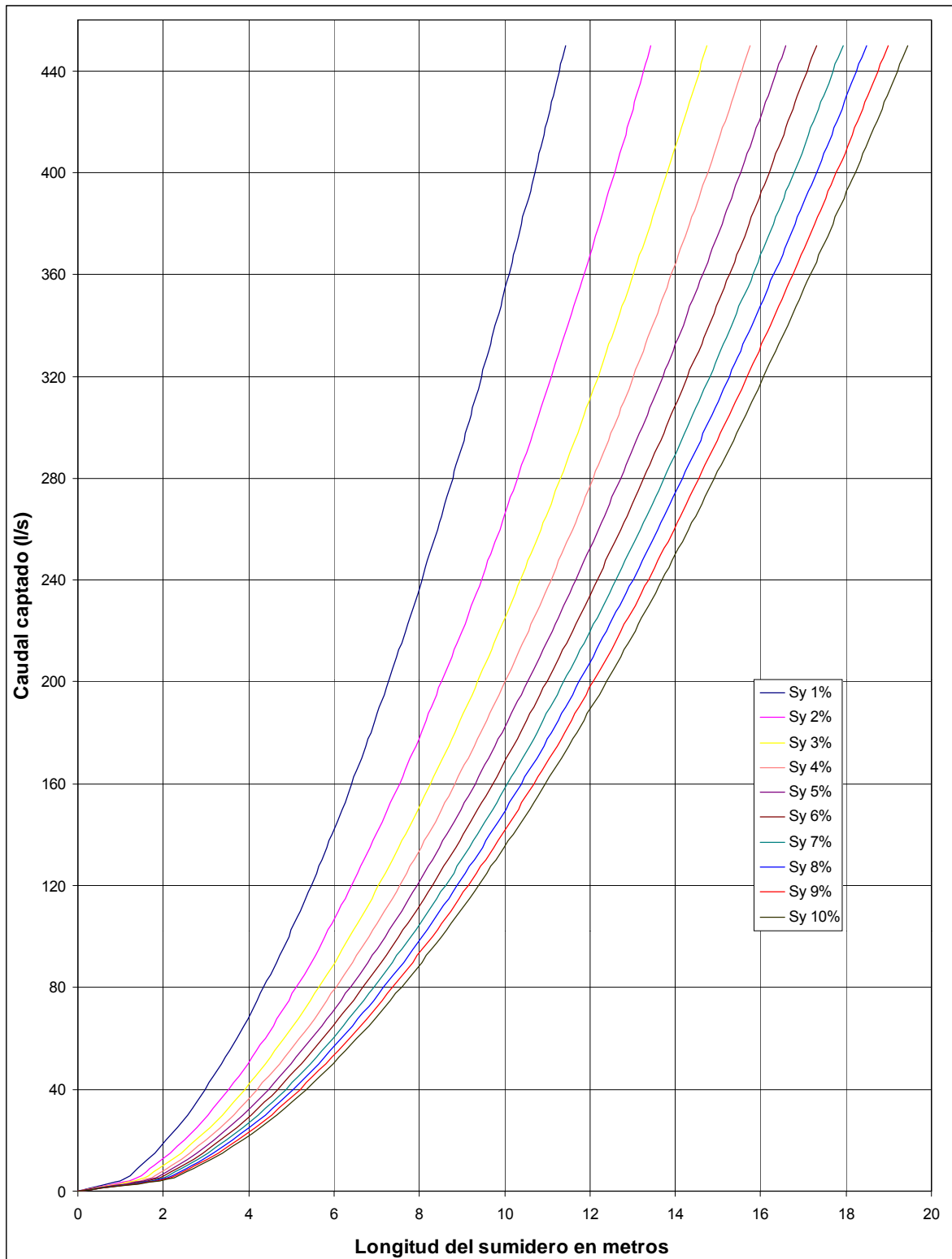
A continuación se presentan gráficas (Ver figuras 5.2, 5.3, 5.4) para el diseño de sumideros laterales con las características hidráulicas mostradas en la figura 5.1 anteriormente cuando la captación se hace en ruta, para diferentes tipos de pendientes tanto transversales como longitudinales. Las pendientes longitudinales fueron de 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 6%, 7%, 8%, 9%, 10%. Las pendientes transversales fueron 1%, 2%, 3%.

<sup>5</sup> FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, (FHWA), Urban Drainage Design Manual, HEC 22, 1996

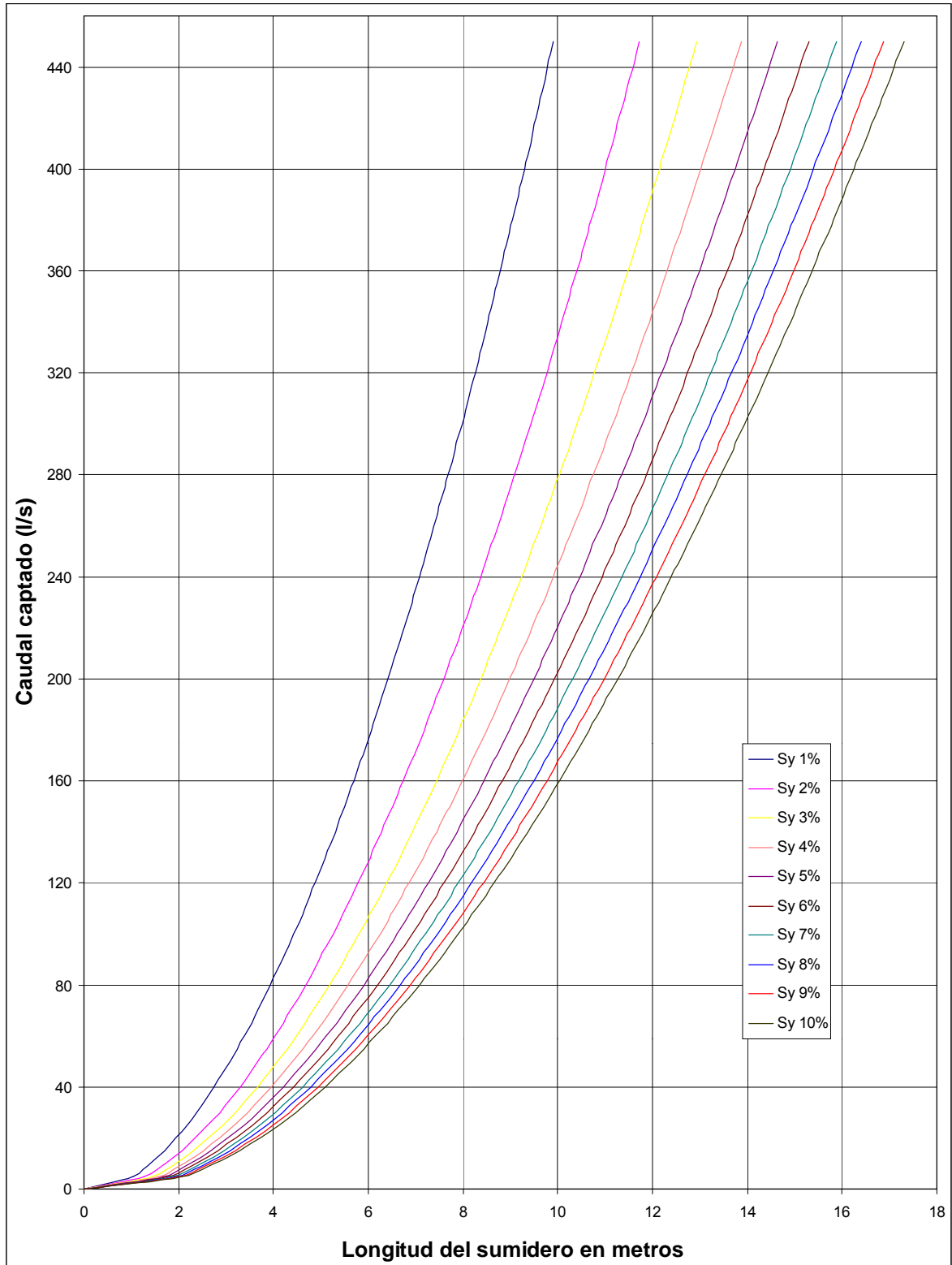
**Figura 5.2 Curvas de Diseño de sumideros laterales con características hidráulicas mostradas en la Figura 5.1, para una pendiente 1% transversal**



**Figura 5.3 Curvas de Diseño de sumideros laterales con características hidráulicas mostradas en la Figura 5.1, para una pendiente 2% transversal**



**Figura 5.4 Curvas de Diseño de sumideros laterales con características hidráulicas mostradas en la Figura 5.1, para una pendiente 3% transversal**



Es importante mencionar que cuando se realicen cambios a estas estructuras se deben estimar otras curvas, pues las *figuras 5.2, 5.3 y 5.4* solo sirven para las características hidráulicas mostradas en la *figura 5.1*. Los valores soporte de estas curvas se muestran en las *tablas 1, 2, 3 del anexo 5*.

El coeficiente de rugosidad de Manning (n) utilizado para estimar las curvas fue de 0.015, según recomendaciones de la FHWA<sup>5</sup>, para un superficie rugosa con depresión en concreto y pavimento en asfalto.

**5.3.2 Pérdidas debido a las barras** Las pérdidas debido a las barras de los sumideros se pueden determinar utilizando la ecuación de Kirshmmmer (*ecuación 4.4*).

Sabiendo que las pérdidas son iguales. (*Ver ecuación 5.1*)

$$h_F = \frac{S_y}{L} \text{ (Ecuación 5.1)}$$

Despejando el valor de (L) en la *ecuación 4.1* se obtiene la *ecuación 5.2*.

$$L = \frac{S_y}{h_F} \text{ (Ecuación 5.2)}$$

El valor determinado en la *ecuación 4.2* se le debe sumar al hallado en las *figuras 5.2, 5.3, 5.4* o al determinado en las *tablas 1, 2, 3 del anexo 5*.

**5.3.3. Pérdidas debidas a taponamiento por basuras** Materón<sup>7</sup> recomienda para prever la acumulación de basuras y material flotante, tomar dos veces las pérdidas de la *ecuación 4.2*.

La longitud total del sumidero lateral sería igual a:

$$\text{Long\_total} = \text{Longitud de gráficas} + \text{longitud debido a barras} + \text{longitud debido a obstrucción por basuras}$$

**5.3.4 Eficiencia de los sumideros laterales (Captación en ruta)** Cuando un sumidero necesita más longitud con la que fue diseñado, para captar el caudal circulante su eficiencia se puede estimar con la *ecuación 4.7* o con la *figura 1 del anexo 4*. En estas el valor de ( $L_T$ ) no debe incluir las pérdidas estimas debido a la presencia de barras o a la obstrucción por basuras.

**5.3.5 Sumideros laterales ubicados en puntos bajos (Captación en batea)** Para determinar la capacidad de los sumideros laterales ubicado en puntos bajos (captación en batea) se propone la metodología desarrollada por la FHWA<sup>5</sup> la metodología se basa en que un sumidero lateral ubicado en un punto bajo puede funcionar de manera análoga a un vertedero hasta alturas iguales a la altura del sumidero en la acera, o puede funcionar como un orificio para alturas mayores 1.4 veces la altura de la abertura lateral.

<sup>5</sup> FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, (FHWA), Urban Drainage Design Manual, HEC 22, 1996

Teniendo en cuenta que los sumideros propuestos en Bucaramanga tienen depresión adyacente se utiliza la *ecuación 4.15* y *4.16* para estimar la longitud necesaria del sumidero para captar el caudal, cuando este funciona como un vertedero. El valor recomendado por la FHWA de  $C_w$  para un sumidero con depresión es de  $1.25 \text{ (m}^{0.5}/\text{s)}$ .

$$Q = C_w * (L + 1.8 * W) * d \quad (\text{Ecuación 4.15})$$

$$d \leq h + \left[ \frac{a}{1000} \right] \quad (\text{Ecuación 4.16})$$

La otra forma en la que puede operar un sumidero lateral en un punto bajo es cuando este trabaja como un orificio y esto sucede cuando la profundidad del agua ( $d$ ) es más de 1.4 veces la altura de la abertura en la acera o andén, la FHWA recomienda utilizar las *ecuación 4.17*, *4.19*, *4.20* cuando los sumideros poseen depresión adyacente. (Ver figura 4.2 capítulo 4)

$$Q = C_o * h * L + (2 * g * d_o)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{Ecuación 4.17})$$

$$d_o = d_i - (h/2) \quad (\text{Ecuación 4.19})$$

$$d_i = Sx * T + a \quad (\text{Ecuación 4.20})$$

Las pérdidas debido a las barras y al taponamiento por basuras, se estiman de manera similar con las ecuaciones propuestas en el numeral 5.3.2 y 5.3.3 del presente capítulo.

## 5.4 SUMIDEROS DE REJILLA

Para estos tipos de sumideros se utilizarán las rejillas, existentes en Bucaramanga, reglamentadas por la CDMB. Dichas rejillas se ilustran en las figuras 3.10.a, 3.10.b, 3.11, 3.12.

**5.4.1 Ranking de rejillas** Es necesario estimar entre el grupo de rejillas existentes en la ciudad, cual tiene mejor capacidad de captación para esto se propone hacer un ranking de rejillas basado en la metodología propuesta por Gómez-González<sup>27</sup>. La cual establece un ajuste potencial para aproximar la captación de las rejillas, dicho ajuste se presenta en la *ecuación 4.46* y la determinación de sus variables en las *ecuaciones 4.47*, *4.48*, *4.49*. Gómez-González proponen estas ecuaciones, incluyendo en ellas estimaciones debido al transporte de sedimentos, mencionan que si todas las rejillas tuvieran el mismo flujo de aproximación y la misma área de los huecos, el flujo dependería del coeficiente de descarga, dicha afirmación esta basada en los estudios realizados por Motskow y mostrados en Subramanya<sup>18</sup>. (Ver *ecuación 4.50*).

<sup>5</sup> FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, (FHWA), Urban Drainage Design Manual, HEC 22, 1996

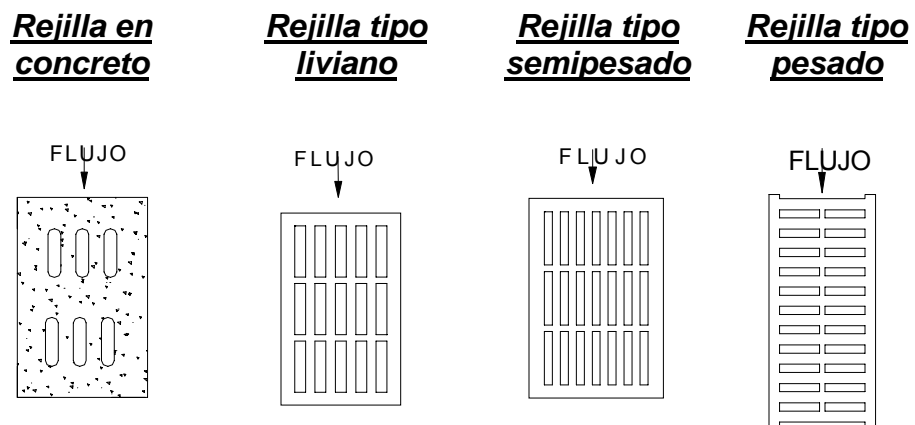
<sup>18</sup> SUBRAMANYA K., FLOW IN OPEN CHANNELS, Editorial Mc Graw Hill. New York (1986).

<sup>27</sup> GÓMEZ-GONZÁLEZ, REVISTA INGENIERÍA CIVIL, N° 114, 1999; CEDEX, Centro de Estudios de Ciencias Aplicadas, Una metodología de selección de Imbornales y cálculo de Caudal captado en viales Urbanos.

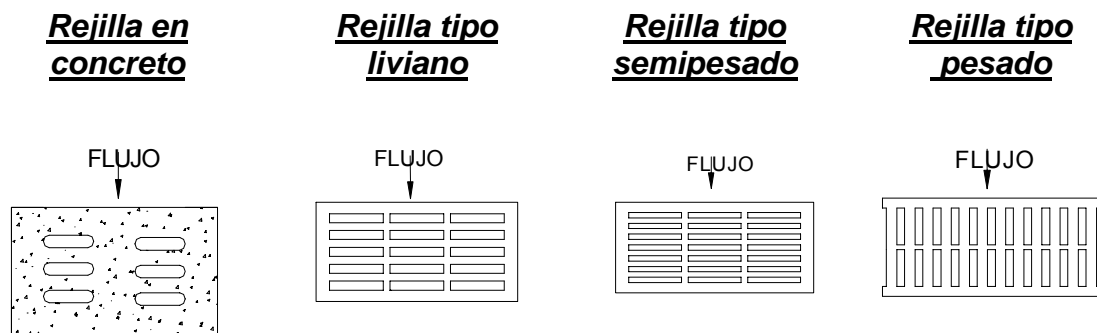
Para determinar la eficiencia de las rejillas es importante mostrar las posiciones que pueden tener las rejillas, se ha establecido dos posiciones posibles para las rejillas: posición normal y posición transversal. La posición normal es cuando la dimensión más larga de la rejilla se encuentra en el sentido del flujo y la posición transversal es cuando la dimensión más larga de la rejilla se encuentra ubicada transversalmente al flujo. (Ver figura 5.5 y 5.6)

Las dimensiones de las rejillas (ancho, largo y área) y las variables de las ecuaciones 4.47, 4.48, 4.49 para las posiciones mencionadas se pueden apreciar en la tabla 5.1 y 5.2.

**Figura 5.5 Posición normal de las rejillas en concreto, tipo liviano, tipo semipesado y tipo pesado**



**Figura 5.6 Posición transversal de las rejillas en concreto, tipo liviano, tipo semipesado y tipo pesado**



**Tabla 5.1 Dimensiones de las rejillas existentes en Bucaramanga**

Rejilla Tipo	ancho (m)	longitud (m)	AT (m <sup>2</sup> )	AH (m <sup>2</sup> )	Ag (m <sup>2</sup> )	p (%)
CONCRETO (normal)	0,51	0,9	0,459	0,062780972	0,396219028	15,84501705
TIPO LIVIANO(normal)	0,44	0,9	0,396	0,144	0,252	57,14285714
TIPO SEMIPESADO(normal)	0,49	0,9	0,441	0,1512	0,2898	52,17391304
TIPO PESADO (normal)	0,52	0,9	0,468	0,1628	0,3052	53,34207077
CONCRETO (transversal)	0,51	0,9	0,459	0,062780972	0,396219028	15,84501705
TIPO LIVIANO (transversal)	0,44	0,9	0,396	0,144	0,252	57,14285714
TIPO SEMIPESADO (transversal)	0,49	0,9	0,441	0,1512	0,2898	52,17391304
TIPO PESADO (transversal)	0,52	0,9	0,468	0,1628	0,3052	53,34207077

**Tabla 5.2 Variables de las ecuaciones 4.47, 4.48, 4.49**

Rejilla Tipo	nt	nl	nd	A (parámetro)	B (parámetro)
	Nº	Nº	Nº		
CONCRETO (normal)	3	4	0	0,477062438	0,635294118
TIPO LIVIANO(normal)	4	6	0	0,504134231	0,736363636
TIPO SEMIPESADO(normal)	4	8	0	0,540004753	0,66122449
TIPO PESADO (normal)	12	3	0	0,499817027	0,623076923
CONCRETO (transversal)	4	3	0	0,463234677	0,635294118
TIPO LIVIANO (transversal)	6	4	0	0,483768325	0,736363636
TIPO SEMIPESADO (transversal)	8	4	0	0,503311679	0,66122449
TIPO PESADO (transversal)	3	12	0	0,575332374	0,623076923

**5.4.1.1 Eficiencia de las rejillas** Con los parámetros A y B de cada rejilla determinados en la *tabla 5.2* y la *ecuación 4.46* se puede determinar la eficiencia de captación para cada una de las rejillas existentes en Bucaramanga. Dicha eficiencia de captación para cada una de las rejillas existentes en Bucaramanga ya sea en posición normal o transversal se expone en las *ecuaciones 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5.7, 5.8, 5.9, 5.10*. Estas eficiencias según Gómez-González<sup>27 31</sup> consideran cerca de un 20 % de taponamiento por sedimentos, porcentaje utilizado en los ensayos.

*Eficiencia rejilla en concreto (Posición normal)*

$$E = 0.47706 \cdot \left(\frac{Q}{y}\right)^{-0.63529} \quad (\text{Ecuación 5.3})$$

*Eficiencia rejilla en concreto (Posición transversal)*

$$E = 0.46323 \cdot \left(\frac{Q}{y}\right)^{-0.63529} \quad (\text{Ecuación 5.4})$$

Eficiencia de la rejilla tipo liviano (Posición Normal)

$$E = 0.504134 \cdot \left(\frac{Q}{y}\right)^{-0.73636} \quad (\text{Ecuación 5.5})$$

Eficiencia de la rejilla tipo liviano (Posición transversal)

$$E = 0.48377 \cdot \left(\frac{Q}{y}\right)^{-0.73636} \quad (\text{Ecuación 5.6})$$

Eficiencia de la rejilla tipo semipesado (Posición normal)

$$E = 0.540004 \cdot \left(\frac{Q}{y}\right)^{-0.661224} \quad (\text{Ecuación 5.7})$$

Eficiencia de la rejilla tipo semipesado (Posición transversal)

$$E = 0.503311 \cdot \left(\frac{Q}{y}\right)^{-0.661224} \quad (\text{Ecuación 5.8})$$

Eficiencia de la rejilla tipo pesado (Posición normal)

$$E = 0.499817 \cdot \left(\frac{Q}{y}\right)^{-0.208} \quad (\text{Ecuación 5.9})$$

Eficiencia de la rejilla tipo pesado (Posición transversal)

$$E = 0.575332 \cdot \left(\frac{Q}{y}\right)^{-0.208} \quad (\text{Ecuación 5.10})$$

**5.4.1.2 Cálculo del coeficiente de descarga de las rejillas existentes en Bucaramanga** Gómez-Gonzalez<sup>31</sup> mencionan que el coeficiente de descarga para caudales superiores a 50 (lps) depende poco de la pendiente longitudinal y depende bastante de la pendiente transversal. Para determinar el coeficiente de descarga y así establecer un ranking de rejillas, bajo las mismas consideraciones de de flujo de aproximación y área de huecos, se considera un caudal circulante de 100 (lps) y una pendiente longitudinal y transversal del 2%, la misma estimación de Gómez-González<sup>31</sup>. Los coeficientes de descarga determinados para las rejillas en posición normal y posición transversal se ilustran en las *tablas 5.3 y 5.4*. El coeficiente de descarga disminuye a medida que se aumenta el caudal, Gómez- González menciona que el coeficiente de descarga determinado en las condiciones anteriormente mencionadas es un buen estimativo de este en viales urbanos.

**Tabla 5.3 Coeficientes de descarga para las rejillas existentes en Bucaramanga (Posición normal)**

Rejilla tipo	Coeficientes de descarga
Concreto	0,359282875
Tipo liviano	0,175312131
Tipo Semipesado	0,185443113
Tipo pesado	0,162371925

**Tabla 5.4 Coeficientes de descarga para las rejillas existentes en Bucaramanga (Posición transversal)**

Rejilla tipo	Cd
Concreto	0,348868981
Tipo liviano	0,168229909
Tipo Semipesado	0,172842339
Tipo pesado	0,186904047

En la *tabla 5.5* se establece un ranking de las rejillas entre las existentes en Bucaramanga, basado en los coeficientes de descarga de cada rejilla, para posición normal y posición transversal. Un mayor coeficiente de descarga indica mejor diseño hidráulico y mayor capacidad de captación bajo igualdad de condiciones de aproximación, como igualdad de área de huecos. Una rejilla puede tener mejor eficiencia que otra pero esto se puede ocasionar debido a que tiene un área más grande y no un mejor diseño hidráulico. Bajo condiciones reales una rejilla con un coeficiente de descarga alto puede o no tener mayor o menor capacidad de captación dependiendo de su tamaño, geometría y área de los huecos.

**Tabla 5.5 Ranking de rejillas existentes en Bucaramanga (Posición normal y transversal)**

Rejilla Tipo	Ranking (normal)	Ranking (transversal)
Concreto	1	1
Tipo semipesado	2	3
Tipo Liviano	3	4
Tipo Pesado	4	2

La rejilla de concreto resultó tener según el análisis el mejor coeficiente de descarga de las rejillas existentes en Bucaramanga. Aunque se hizo el análisis para este tipo de rejilla, se siente cierta incertidumbre en el resultado pues todas las rejillas analizadas por Gómez-González<sup>31</sup> fueron rejillas en fundición gris. Es importante dejar en claro que habría que verificar este resultado en laboratorio y si es cierto sería una buena alternativa de diseño, pues estas rejillas son menos susceptibles al hurto y son menos ruidosas.

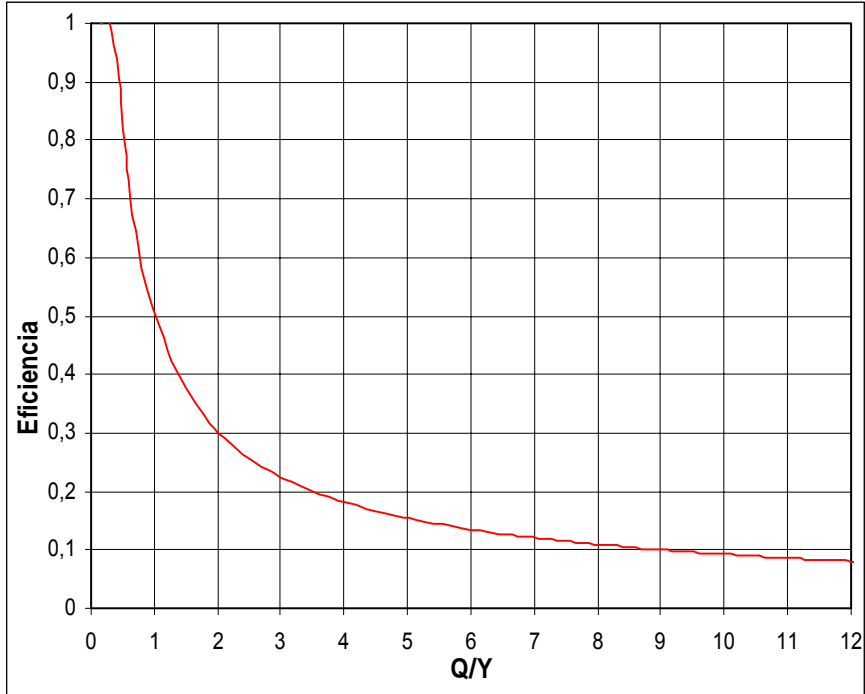
#### **5.4.2 Curvas de eficiencia para las rejillas existentes en Bucaramanga**

En las *figuras 5.6, 5.7, 5.8, 5.9, 5.10, 5.11* se presentan las curvas de eficiencia de las rejillas existentes en Bucaramanga, sin incluir la rejilla en concreto. Estas curvas están basadas en las *ecuaciones 5.5, 5.6, 5.7, 5.8, 5.9, 5.10* las cuales fueron determinadas por la metodología propuesta por Gómez-Gonzalez<sup>31</sup>.

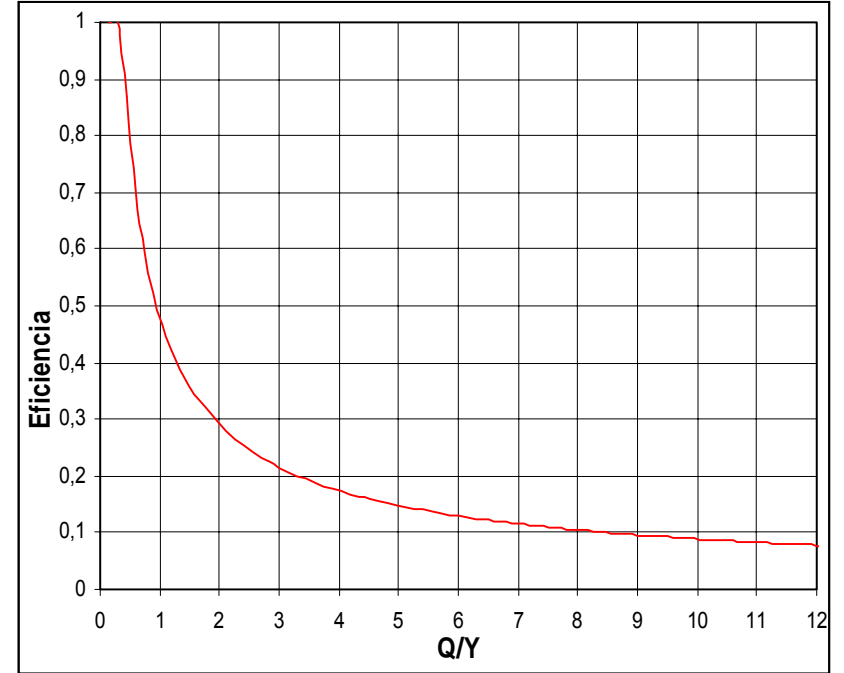
Los valores soporte de estas figuras se pueden apreciar en la *tabla 4 del anexo 5*

<sup>31</sup> GÓMEZ-GONZÁLEZ, MEMORIAS XIX CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA – CORDOBA 2000, Análisis del Comportamiento Hidráulico de Rejas y Sumideros.

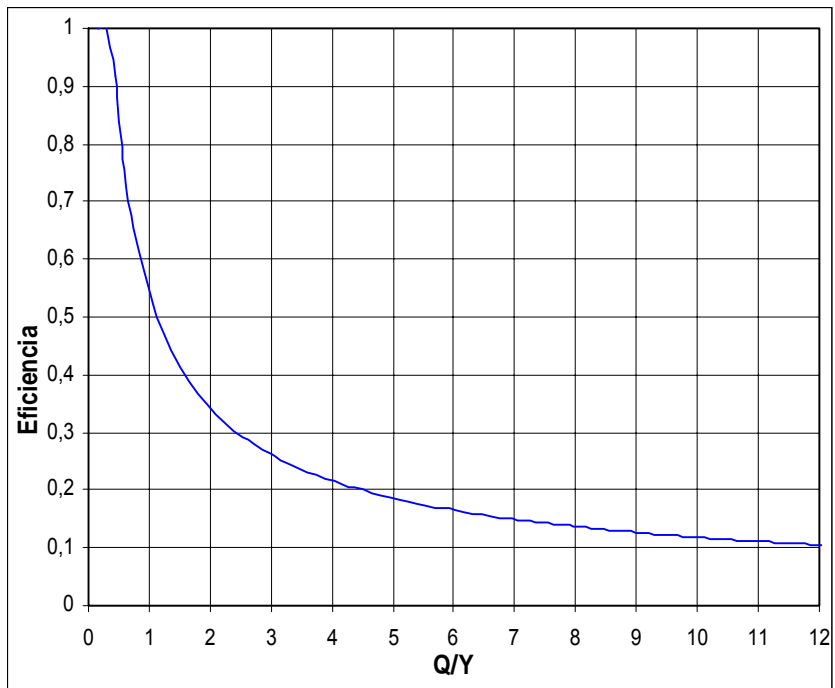
**Figura 5.6** Eficiencia de la rejilla tipo liviano  
(Posición normal)



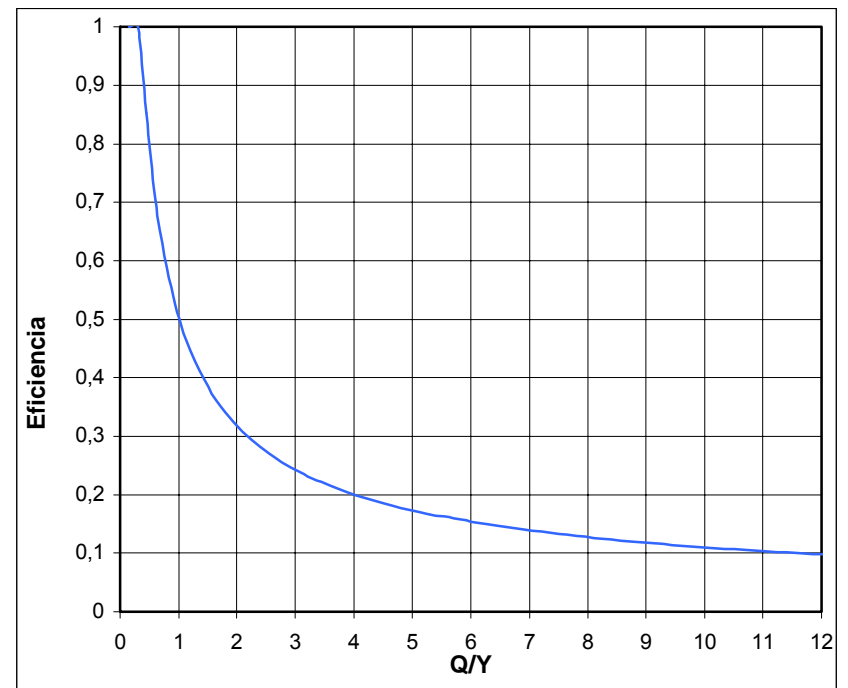
**Figura 5.7** Eficiencia de la rejilla tipo liviano  
(Posición transversal)



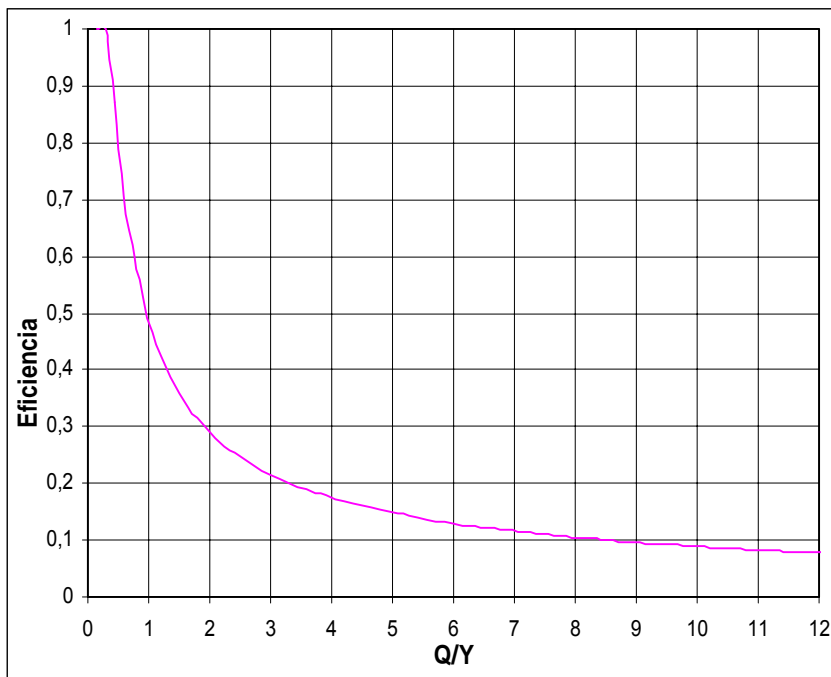
**Figura 5.8** Eficiencia de la rejilla tipo semipesado  
(Posición normal)



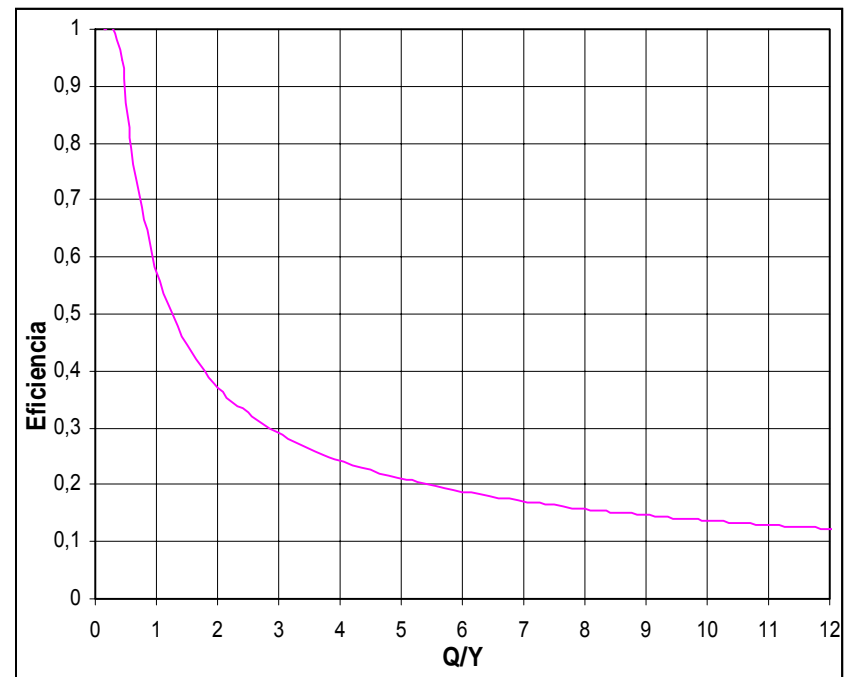
**Figura 5.9** Eficiencia de la rejilla tipo semipesado  
(Posición transversal)



**Figura 5.10** Eficiencia de la rejilla tipo pesado  
(Posición normal)



**Figura 5.11** Eficiencia de la rejilla tipo pesado  
(Posición transversal)



**5.4.3 Longitud requerida por una serie de rejillas para captar el caudal circulante** Cuando una rejilla no puede captar todo el caudal circulante es necesario establecer un conjunto de rejillas en serie que puedan captar todo el caudal circulante, para esto se utiliza la *ecuación 4.26* del capítulo 4 determinada por Mostkow y sacada de Chow<sup>16</sup>.

$$Lr = \frac{Q_1}{\left( \varepsilon * C_d * b * (2 * g * E)^{\frac{1}{2}} \right)} \quad (\text{Ecuación 4.26})$$

Donde:

Q= Caudal circulante (m<sup>3</sup>/s), caudal a ser interceptado por un conjunto de rejillas.

e= Relación entre las aberturas y el área total de las barras. (m<sup>2</sup>/ m<sup>2</sup>)

C<sub>d</sub>= Coeficiente de descarga, característico para cada tipo de rejilla

b= ancho de la rejilla en (m)

Lr= Longitud requerida por una serie de rejillas para captar todo el caudal.

g= aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

E= energía específica mínima (m), la cual se calcula a partir de la profundidad crítica en el canal de aproximación.

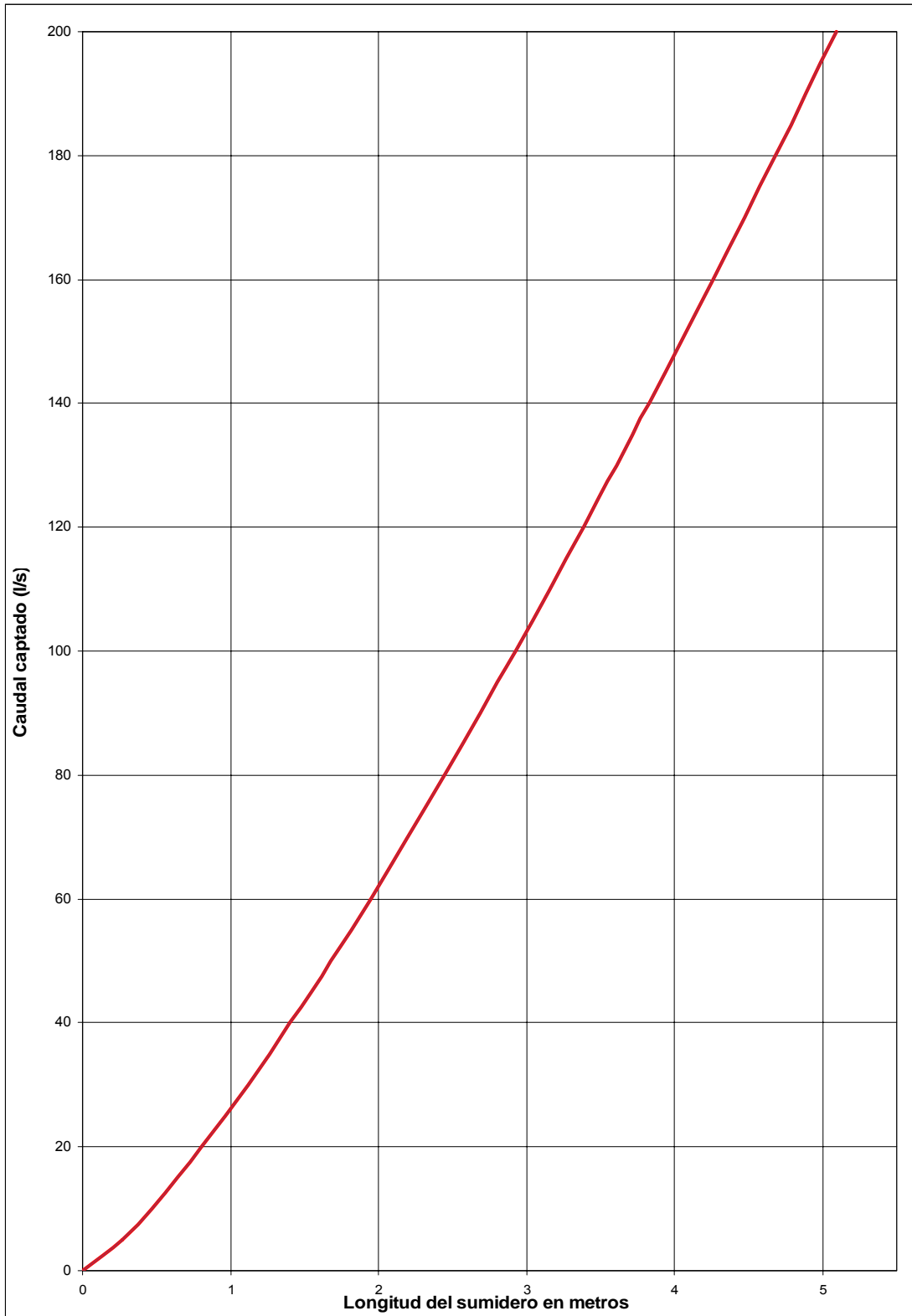
En las *figuras 5.12, 5.13, 5.14, 5.15, 5.16, 5.17* se presentan las longitudes requeridas por un conjunto de rejillas (tipo liviano, tipo semipesado) para captar todo el caudal. En la *tabla 5 del anexo 5* se presentan los valores soporte de estas curvas, para rejillas tipo liviano, tipo semipesado necesarias para captar todo el caudal circulante. Las rejillas mencionadas están dispuestas en posición normal y se incluyen los coeficientes de descarga de la *tabla 5.3* que fueron determinados bajo las condiciones recomendadas por Gómez- Gonzalez<sup>31</sup>. Se hallaron las longitudes necesarias para las rejillas mencionadas para pendientes transversales del 1%, 2% y 3%.

El valor de la pendiente longitudinal de la vía no influye en el análisis debido a que las longitudes determinadas por la ecuación 4.26 fueron determinadas con la energía específica mínima (cuando el valor de Y es crítico), por tal razón el valor determinado es el máximo para cualquier pendiente. La ecuación 4.26 es conocida como la ecuación de Mostkow y se puede utilizar hasta pendientes de un ángulo de inclinación de 20° aproximadamente 35 %.

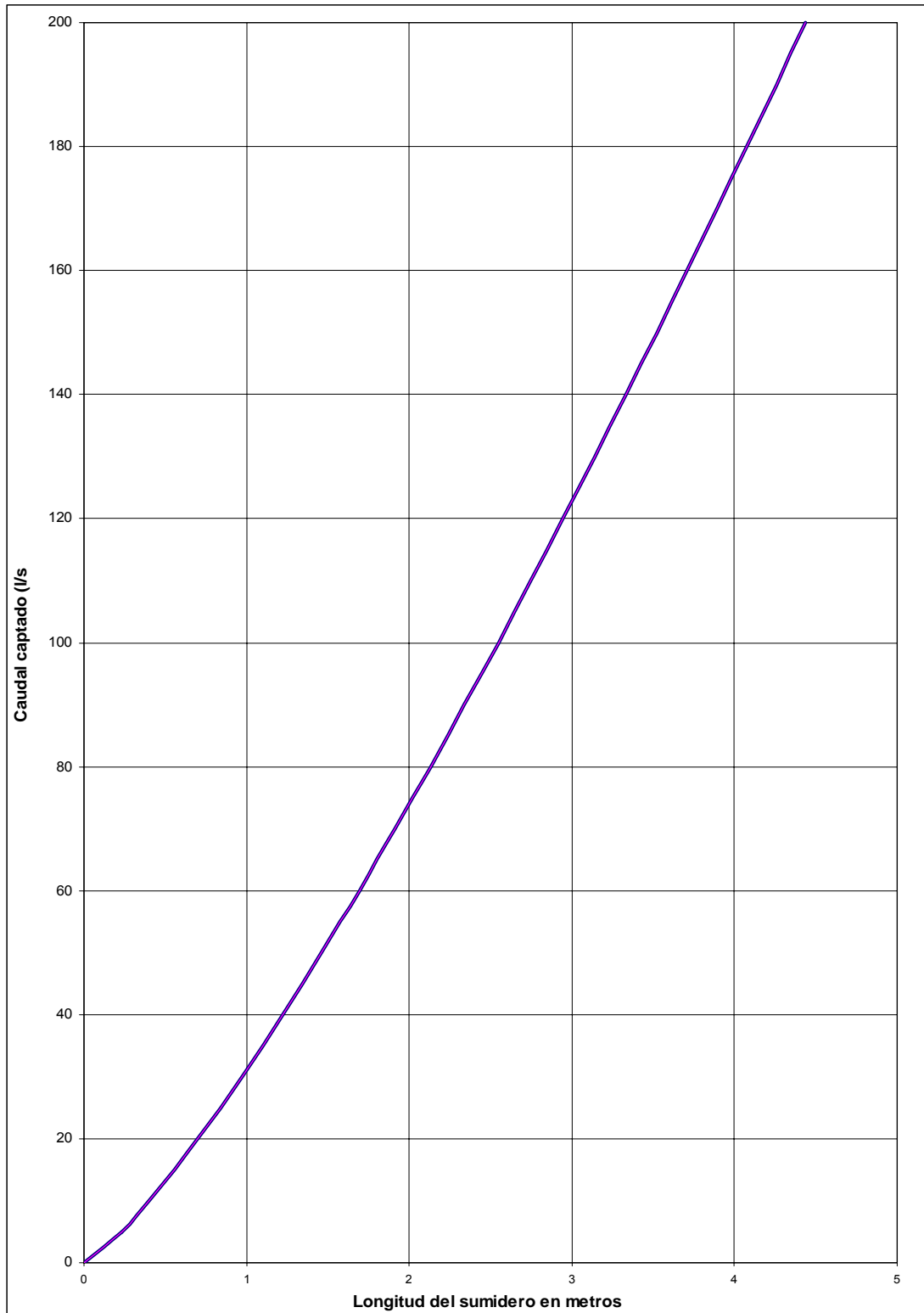
Se deben evitar estos tipos de sumideros en puntos bajos debido a la gran cantidad de desperdicios que podrían depositarse sobre ellos limitando considerablemente la eficiencia de captación.

<sup>31</sup> GÓMEZ-GONZÁLEZ, MEMORIAS XIX CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA – CORDOBA 2000, Análisis del Comportamiento Hidráulico de Rejas y Sumideros.

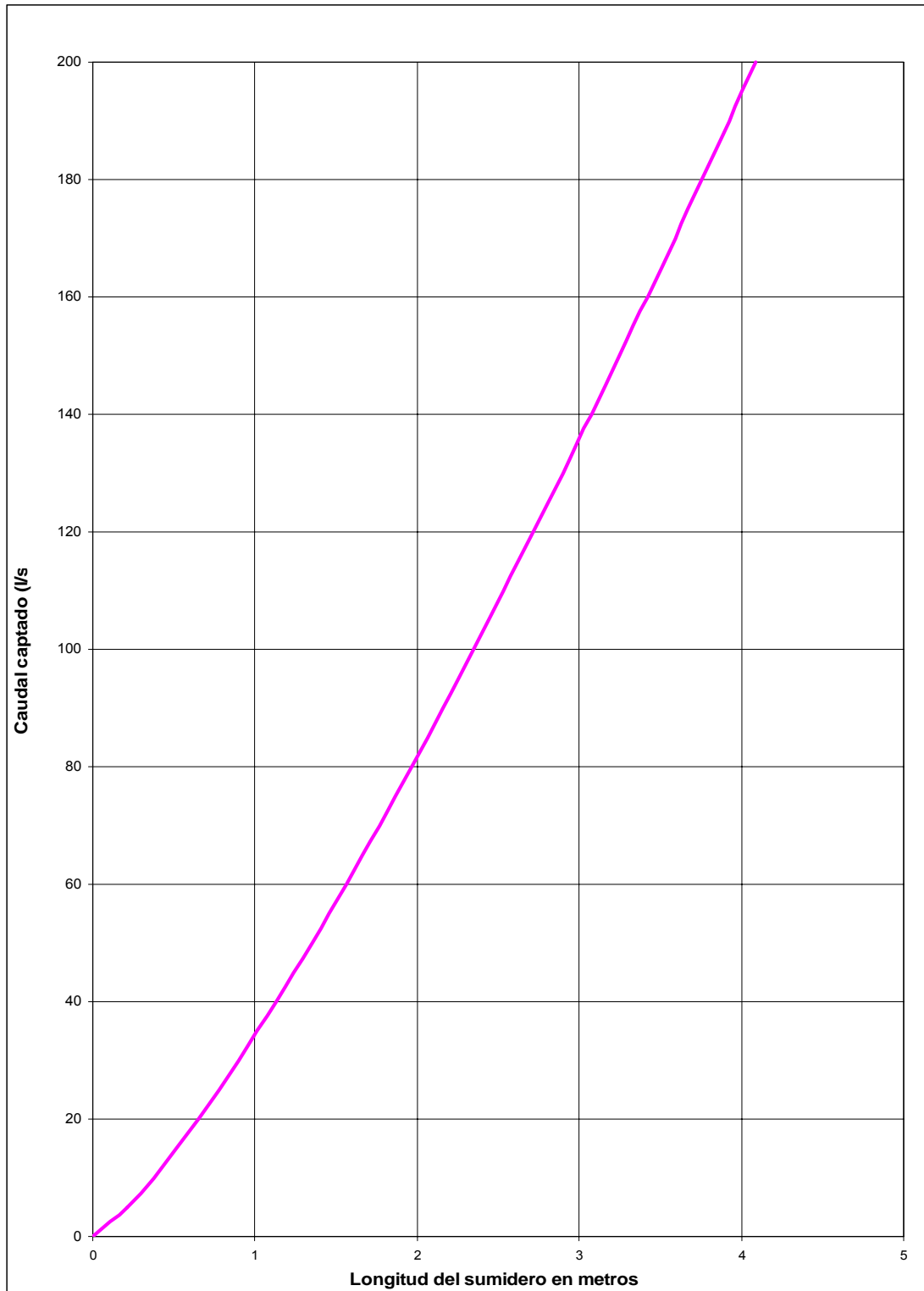
**Figura 5.12 Longitud requerida de las rejillas tipo liviano para captar todo el caudal pendiente transversal (1%)**



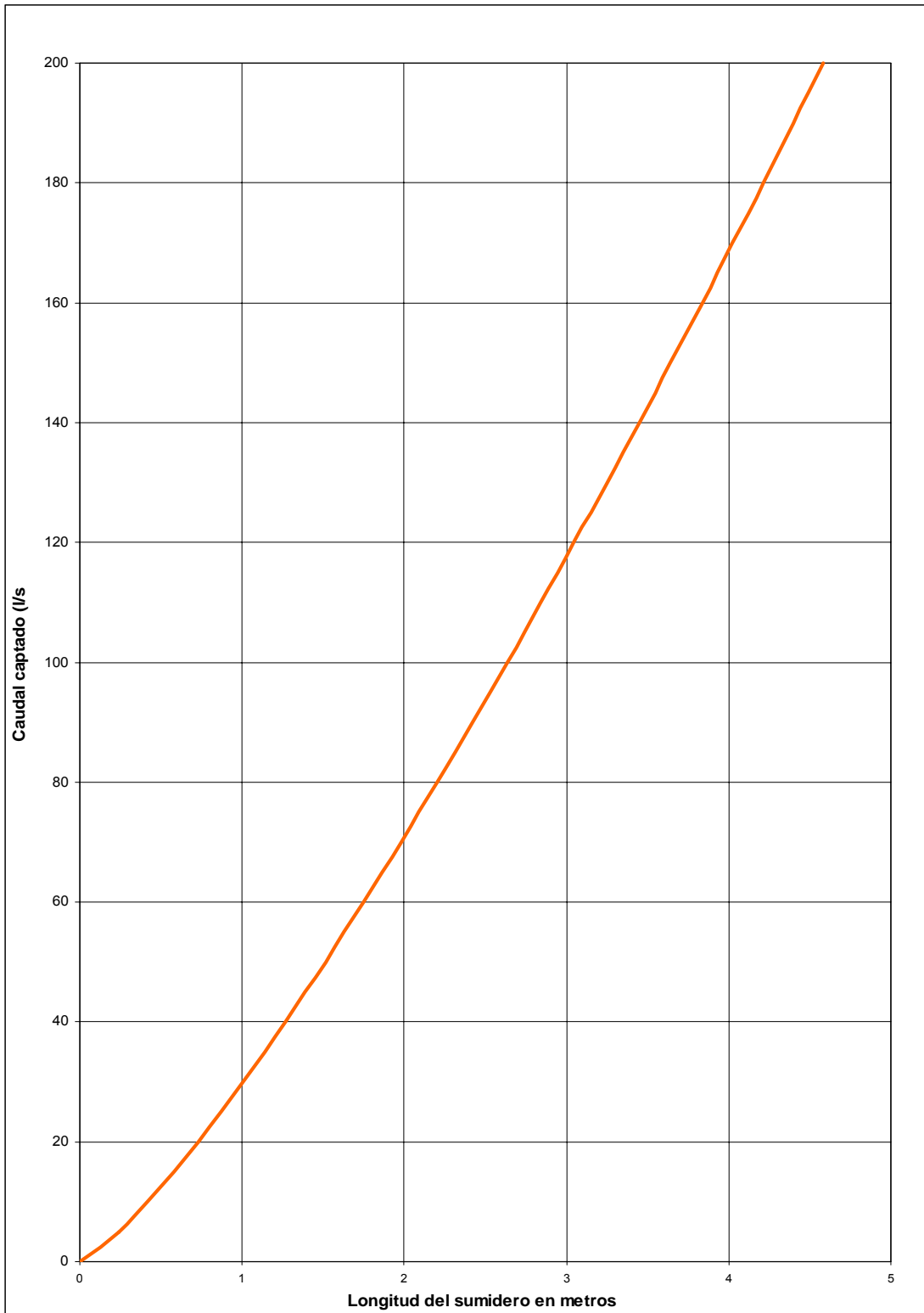
**Figura 5.13** Longitud requerida de las rejillas tipo liviano para captar todo el caudal pendiente transversal (2%)



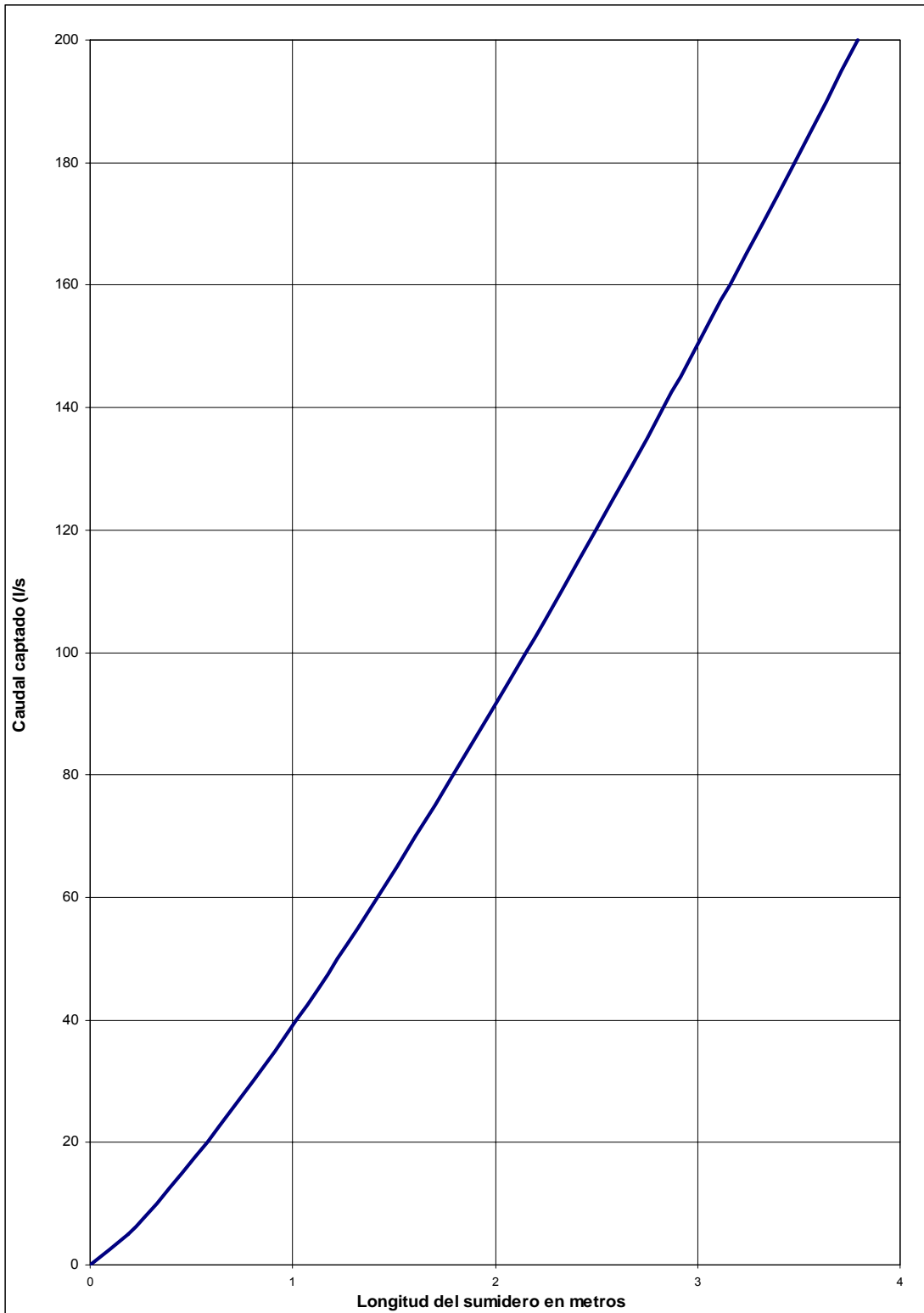
**Figura 5.14 Longitud requerida de las rejillas tipo liviano para captar todo el caudal pendiente transversal (3%)**



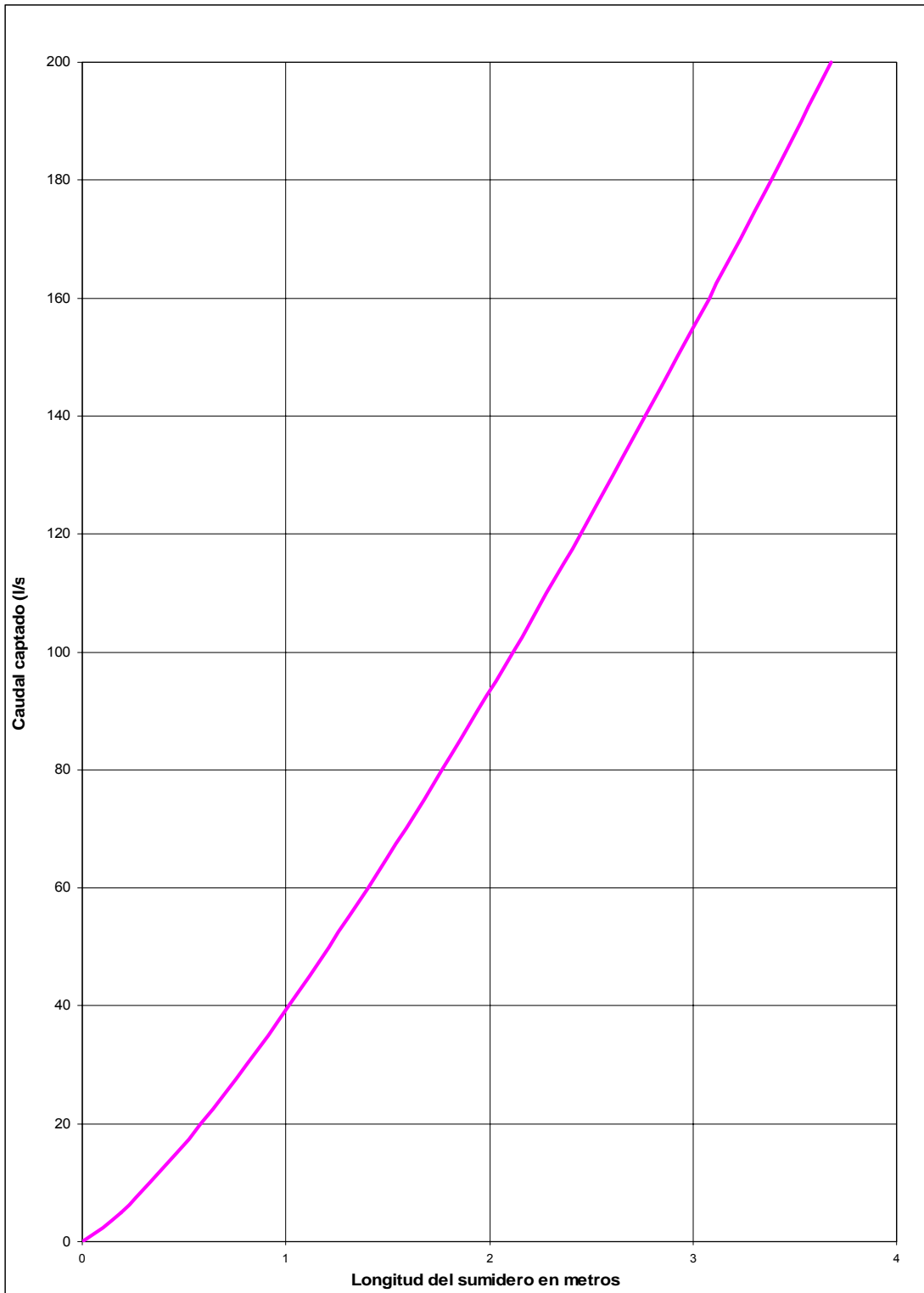
**Figura 5.15 Longitud requerida de las rejillas tipo semipesado para captar todo el caudal pendiente transversal (1%)**



**Figura 5.16 Longitud requerida de las rejillas tipo semipesado para captar todo el caudal pendiente transversal (2%)**



**Figura 5.17 Longitud requerida de las rejillas tipo semipesado para captar todo el caudal pendiente transversal (3%)**



**5.4.4 Sumideros transversales** Los sumideros transversales a construir son los que actualmente están reglamentados en la ciudad (ST-40, ST2-40) y se muestran en las *figuras 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21 del anexo 3*. Debido a que las rejillas propuestas por Hidroestudios<sup>21</sup> para los sumideros ST-40 y ST2-40, han sufrido modificaciones es importante modificar las curvas de diseño para estos tipos de sumideros y establecer que estos tipos de sumideros se deben construir siempre en rejillas tipo pesado en posición transversal, debido a que ofrecen mayor eficiencia de captación y a la vez la mayor resistencia. Para los sumideros transversales (ST-40) se coloca una línea de rejillas y para los sumideros ST2-40 se colocan dos líneas de rejillas. La metodología propuesta para estimar el ancho que debe tener las rejillas en un sumidero transversal, se basa en la *ecuación 4.26*. En la *ecuación 5.11* se hace una modificación a la *ecuación 4.26* que consiste en despejar el ancho.

$$\frac{Q}{C_d * \varepsilon * L * \sqrt{2 * g * E}} = b \quad (\text{Ecuación 5.11})$$

Donde:

Q= Caudal circulante (m<sup>3</sup>/s), caudal a ser interceptado por un conjunto de rejillas.

$\varepsilon$ = Relación entre las aberturas y el área total de las barras. (m<sup>2</sup>/ m<sup>2</sup>)

C<sub>d</sub>= Coeficiente de descarga

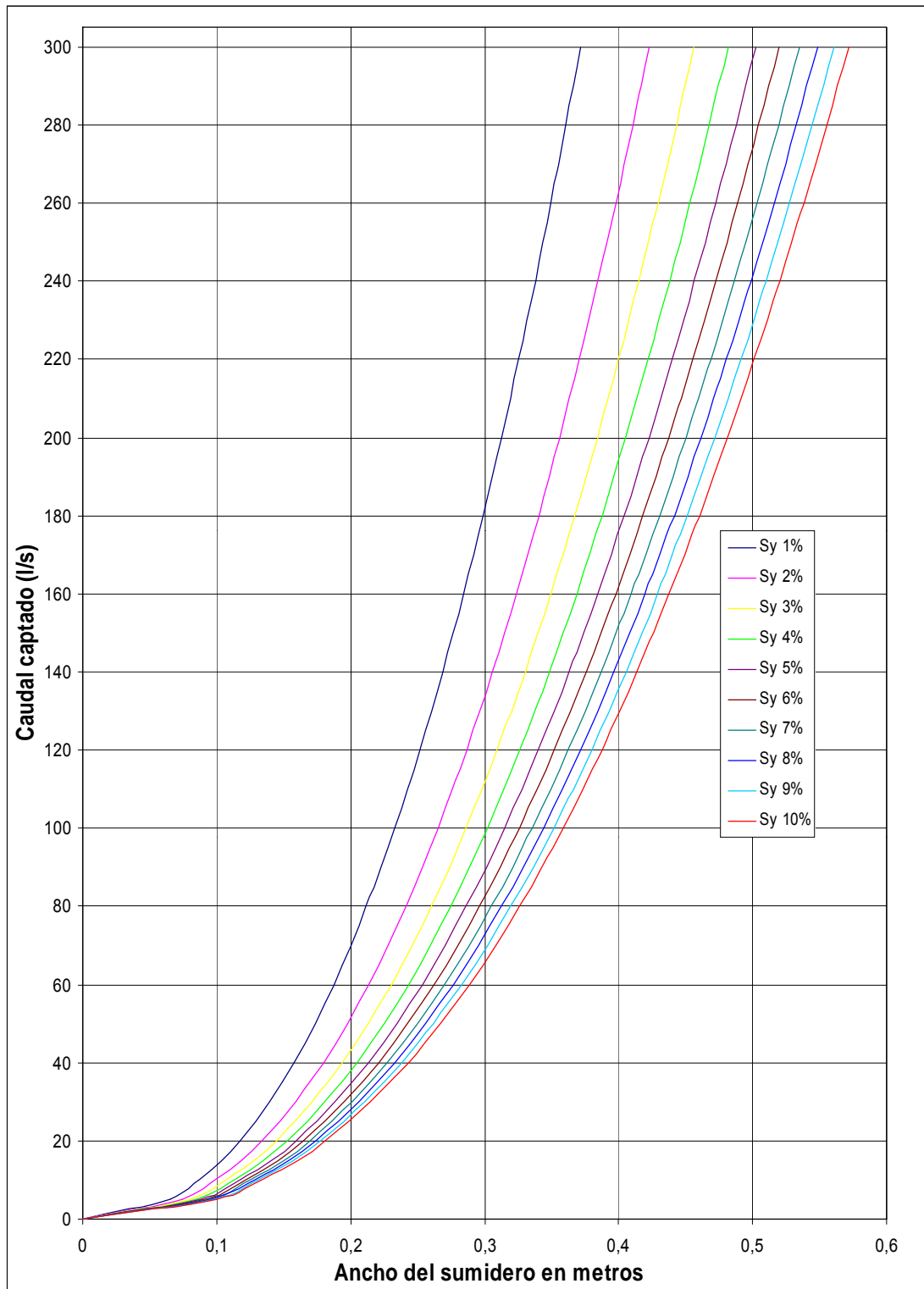
b= ancho de un conjunto de rejillas para captar todo el caudal (m)

L= Longitud de la rejilla en dirección perpendicular al flujo, esta es la longitud mínima en la calzada que debe tener el sumidero transversal y se hace para efectos prácticos igual al ancho de inundación en la calle (T)

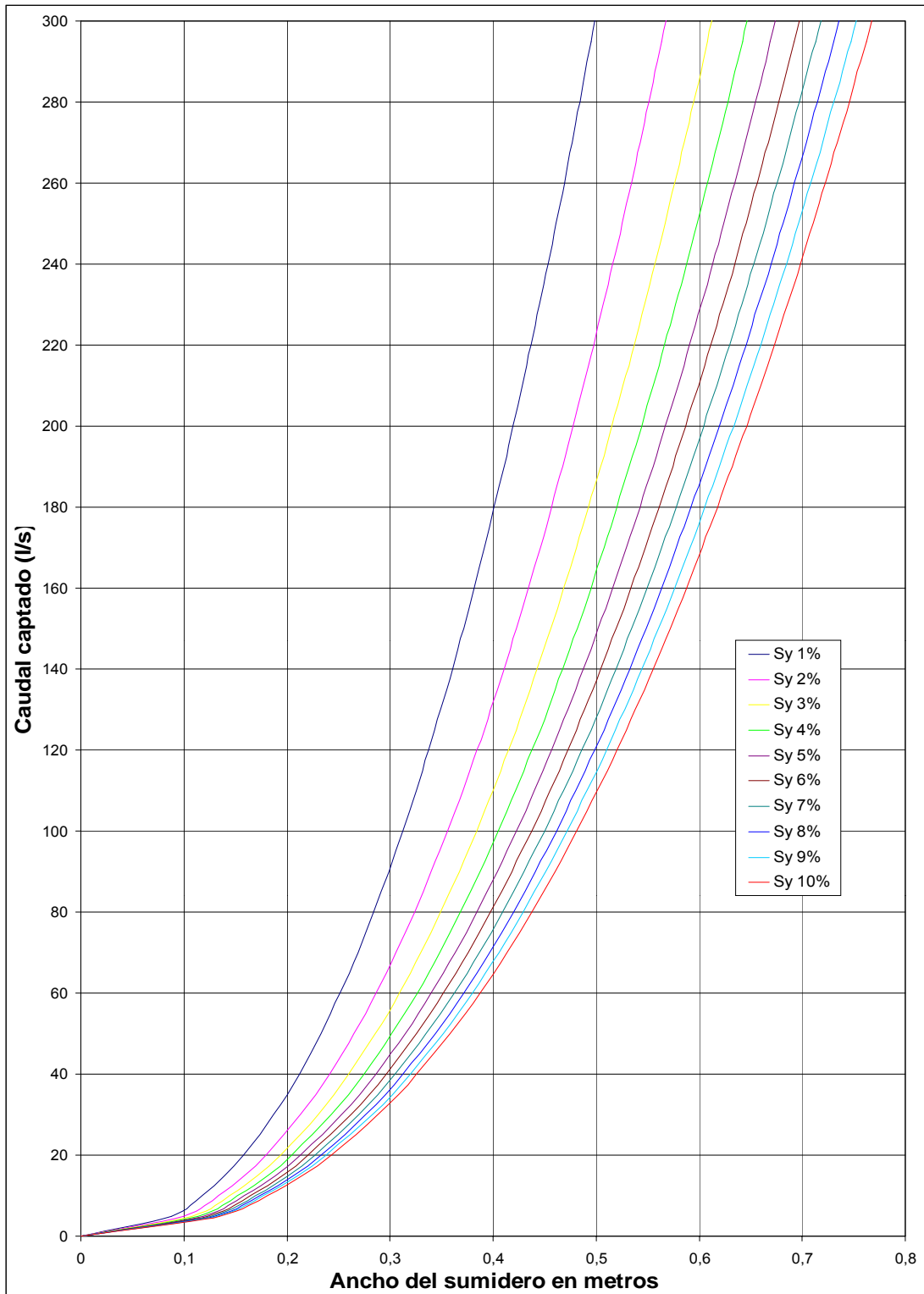
E= energía específica mínima (m), la cual se calcula a partir de la profundidad crítica en el canal de aproximación.

Un sumidero transversal trabaja como una estructura la cual conservando una longitud de rejilla constante se puede captar todo el caudal circulante únicamente variando en ancho. Es importante mencionar que el ancho siempre debe ser múltiplo de la longitud transversal de las rejillas. La longitud de las rejillas en dirección del flujo utilizada en el análisis fue de 0.52 metros para los sumideros ST-40 y de 1.10 metros para los sumideros ST2-40. Las *figuras 5.18, 5.19, 5.20* muestran las curvas de diseño para estos sumideros. Las tablas 6, 7, 8 del anexo 5 muestran los valores soporte de estas curvas.

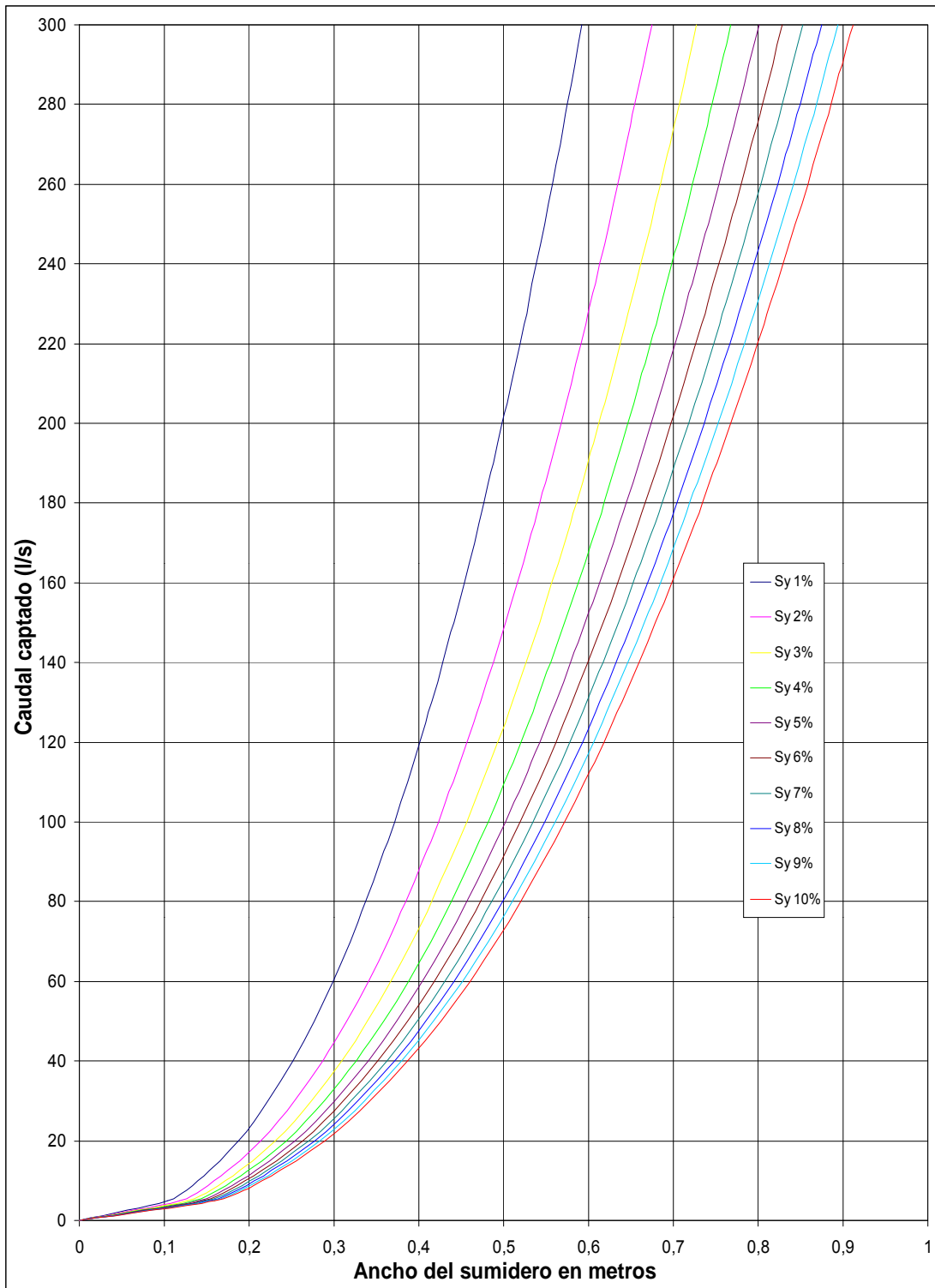
**Figura 5.18 Curvas de diseño para sumideros transversales pendiente transversal de 1%**



**Figura 5.19** Curvas de diseño para sumidero transversales pendiente transversal de 2%



**Figura 5.20 Curvas de diseño para sumidero transversales pendiente transversal de 3%**



## 5.5 SUMIDEROS COMBINADOS

Se propone implementar unos sumideros denominados combinados, los cuales son una combinación entre los sumideros laterales existentes y rejillas tipo semipesado. Las rejillas semipesado deben ir ubicadas en la depresión del los sumideros laterales, al final de la abertura, en posición normal.

Los sumideros combinados se clasificarán de la siguiente manera:

SC-200: Sumidero combinado con una abertura lateral de 2 metros de longitud y una rejilla tipo semipesado en posición normal.

SC-400: Sumidero combinado con una abertura lateral de 4 metros de longitud y una rejilla tipo semipesado en posición normal.

SC-600: Sumidero combinado con una abertura lateral de 6 metros de longitud y una rejilla semipesado en posición normal.

Para diseñar los sumideros combinados propuestos anteriormente se utiliza la *ecuación 4.63*, la cual es extraída de la FHWA y determina la longitud aguas arriba de la rejilla perteneciente al sumidero lateral. El procedimiento de diseño es el mismo propuesto en el *capítulo 4* sección *4.2.1.2* (metodología de la FHWA) para una longitud de sumidero igual a la longitud aguas arriba del sumidero lateral.

**5.5.1 Eficiencia de las rejillas tipo semipesado en depresión** Debido a que las rejillas semipesado de los sumideros combinados están ubicadas en la depresión adyacente al sumidero lateral, hay que determinar la altura del agua en la depresión para esto utilizamos una pendiente equivalente ( $S_e$ ) como la que propone la FHWA en las ecuación 4.8 y sus valores ( $S_w$ ) y ( $E_o$ ) *ecuaciones 4.9* y *3.24* respectivamente.

Después de determinar la pendiente promedio transversal, esta puede ser incluida en la *ecuación 3.22* modificación de la ecuación de Izzard propuesta por la ASCE. De la ecuación 3.22 se establece la altura de aproximación ( $Y_A$ ) y caudal circulante o de aproximación ( $Q_A$ ), con estos valores y con las *ecuación 5.7* que nos da la eficiencia para una rejilla semipesado se puede determinar la eficiencia del sumidero combinado y a su vez la capacidad de captación de este.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se recomienda a la CDMB adoptar métodos hidrológicos más sofisticados que para determinar la porción de lluvia que se convierte en escorrentía. Un método podría ser el método de la (NCRS) **U.S. Department of Agriculture and Natural Resources Conservation Service**, pues este tiene en cuenta consideraciones que el método racional no tiene en cuenta como son la distribución en el tiempo de la lluvia, pérdidas iniciales de la precipitación, (intersección y almacenamiento del agua en depresiones) y una rata de infiltración que decrece en el transcurso de la tormenta.

Se debe incluir en la determinación del caudal de escorrentía consideraciones debido a los procesos de urbanización futura, pues estos modifican el proceso de transformación de la lluvia a escorrentía, ocasionando una disminución en el tiempo de concentración de la lluvia, lo que hace que las zonas situadas aguas abajo de las zonas urbanizadas se vean afectadas por problemas de inundación.

Se recomienda a la CDMB no seguir utilizando las curvas de diseño propuestas por Hidroestudios debido a que ellas están condicionadas por características hidráulicas de los diseños originales. Dichas características suelen ser para los sumideros laterales, el ancho de la depresión adyacente (o tragante), la pendiente de dicha depresión, así como la pendiente en esta. En los sumideros transversales las curvas de diseño las curvas dependen de la forma de las rejillas, estas solo sirven para barras en dirección del flujo sin permitir barras transversales a él. Con el tiempo la CDMB ha hecho modificaciones a las características hidráulicas de los sumideros laterales, como a la geometría de las rejillas lo que ha disminuido considerablemente la eficiencia de captación de los sumideros.

Se debe evitar el uso de extrapolaciones, para determinar el comportamiento de los sumideros laterales ubicados en pendientes superiores o iguales al 5 % y menores o iguales que el 10%, debido a que el valor de la longitud que debe tener el sumidero (L) no depende del caudal al cuadrado, como se mostró al analizar las ecuaciones de la metodología de la **Jhons Hopkins University**, las cuales son la base de las curvas del **Bureau of Public Roads**, libro del cual hidroestudios extrajo las curvas de diseño para la CDMB. Para solucionar el problema de utilizar ecuaciones extrapoladas, se determinaron longitudes que deben tener los sumideros basados en las ecuaciones propuestas por la **Federal Highway Administration**, las cuales dan un comportamiento más real de estas estructuras.

Se recomienda a la CDMB utilizar los procedimientos propuestos para la ubicación de sumideros laterales en puntos bajos, pues las curvas actuales de diseño de sumideros no dan la información necesaria cuando estos están ubicados en dichas situaciones.

Se debe evitar utilizar sumideros de rejillas o transversales cuando la ubicación de estos sea en puntos bajos, pues dichos sumideros son más susceptibles al taponamiento debido a basuras y al transporte de sedimentos cuando se encuentran ubicados en estas configuraciones.

Se debe diseñar los sumideros transversales siempre con rejillas tipo pesado en posición transversal pues estas tienen mejor eficiencia de captación y mayor resistencia debido a la disposición de sus barras, para los sumideros ST-40 una línea de rejillas en posición transversal y para los sumideros ST-40 dos líneas de rejillas en posición transversal. En ningún caso se deben utilizar rejillas tipo liviano y tipo semipesado en sumideros transversales, debido a que en posición transversal no tienen una buena eficiencia de captación y en posición normal a pesar de tener una buena eficiencia de captación no ofrecen la resistencia apropiada para el tránsito de vehículos.

Se debe diseñar los sumideros de rejillas (en sentido longitudinal de la vía) con rejillas tipo liviano o tipo semipesado según la configuración del tráfico de la vía. Las longitudes requeridas por estos tipos de sumideros para captar todo el caudal circulante fueron determinadas para este tipo de rejillas en posición normal.

Se debe evitar el uso de sumideros que posean rejillas para caudales mayores de 200 lps pues este valor es el límite del ensayo en el cual están basadas las curvas de diseño, tanto las de eficiencia como el coeficiente de descarga. Si se obtienen caudales mayores lo que se debe hacer es subdividir el área de drenaje en subáreas. Aunque se determinaron valores mayores a 200 lps para estos tipos de sumideros, los resultados pueden no ser confiables si superan este límite.

Se requiere comprobar la eficiencia de captación de las rejillas de concreto en laboratorio pues la bibliografía y el análisis utilizado para este tipo de rejillas, no las incluía. El coeficiente de descarga hallado para este tipo de rejillas fue el más alto que el de las otras rejillas, lo que hace pensar de que puede tener un buen diseño hidráulico, razón por la cual si esta estimación es cierta podría ser una buena alternativa debido a que se obtendría una buena eficiencia de captación y menor ruido cuando los automóviles pasen por encima de ellas.

Se recomienda a la CDMB el uso de sumideros combinados ya que estos son una buena alternativa de captación, ya que aumentan la eficiencia de los

sumideros laterales existentes debido a la rejilla ubicada al final de la abertura lateral.

Se debe realizar un mantenimiento adecuado a los sumideros de la ciudad debido a que en algunas zonas estos son más susceptibles al taponamiento por basuras, por ejemplo en zonas con predominio de árboles como la guadua o bambú o donde la gente acostumbra botar basuras ya sea orgánica o residuos de construcción.

Se recomienda a la CDMB establecer parámetros de localización de sumideros y zonas de ubicación de los mismos, que sirvan de base a los ingenieros, constructores e interventores en el momento de diseñar sumideros para que estos no incurran en errores de ubicación que afecten considerablemente la eficiencia de captación.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

APARICIO MIJARES, Francisco Javier. Fundamentos de la Hidrología de Superficie, Editorial Limusa, México, 2001.

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (ASCE). Desing of construction of urban Stormwater Management Systems, Manual of Report of Engineering Practice n. 77, New York, 1992.

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY OF TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO). A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1990.

BOLINAGA J.J. Drenaje Urbano, Instituto Nacional de Obras Sanitarias de Venezuela, Caracas, 1979.

BUREAU OF PUBLIC ROADS. Drainage of Highway Pavements, Hydraulic Engineering Circular N° 12, Washington, 1969.

CDMB, Normas Técnicas para diseño y presentación de proyectos de Alcantarillado, Convenio Sena-Camacol, Bucaramanga, 2000.

CHOW, V. T, Hidráulica de canales abiertos, Editorial Mc GRAW Hill, Bogotá, 1994.

DRESSER-MCKEE, Report on Master Plan for Sewage Works, Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, 1962.

ELIANSSON, Jonas. Estimation of design floods on basis of M5 values, University of Iceland, 2002.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, (FHWA). Bicycle-Safe Grate Inlets Study, Vol. 1 & Vol. 2, Final Report. Hydraulic and Safety Characteristics of Selected Grate Inlets on Continuous Grades, Washington, 1978.

----- . Drainage of Highway Pavements, Washington, Hec-12, 1984.

----- . Highway Hydrology, HDS 2, Washington, 1996.

----- Urban Drainage  
Design Manual, HEC 22, Washington, 1996.

GAVILÁN LEÓN, Germán Eduardo, Manual de Diseño de Drenajes Superficiales y Subsuperficiales en vías, Bucaramanga, 2001.

GÓMEZ, Manuel. MEMORIAS XIX CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA, Análisis del Comportamiento Hidráulico de Rejas y Sumideros, Córdoba, 2000.

----- Una metodología de selección de Imbornales y cálculo de Caudal captado en viales Urbanos, Revista de Ingeniería civil, N° 114, Centro de estudios de ciencias aplicadas, Barcelona, 1999.

HIDROESTUDIOS LTDA. Ingenieros Consultores, Informe No. 032-GA-91, Alcantarillado maestro diseño de sumideros, Bucaramanga, 1979.

IZZARD, C.F. Hydraulics of Runoff from Developed Surfaces. Proc. Highway Research Board, Volume 26, Highway Research Board, Washington, D.C, 1946.

JOHNS HOPKINS UNIVERSITY. The Design of Stormwater inlets. Report of the Storm Drainage Community, Baltimore, 1956.

MATERÓN, Hernán. Obras Hidráulicas rurales, Editorial Universidad del Valle, Cali, 1997.

METCALF-EDDY. Tratamiento y Depuración de las Aguas Residuales, Editorial Labor, Barcelona, 1981.

PACHECO, Raúl. Nuevo Procedimiento para el cálculo de drenaje en Urbanizaciones, Restrepo y Uribe Ltda., Ingenieros consultores, Medellín, 1976.

RAS-2000. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, Sección II, Título D, Sistemas de recolección de aguas Residuales Domesticas y Pluviales, Ministerio de Desarrollo Económico sección de agua Potable, Bogotá, 2000.

SPALIVIERO, F. Spacing of Road Gullies. Hydraulic performance of BS EN 124 gully gratins. HR Wallingford Report SR533, 1999.

STEPHENSON, D, Stormwater Hydrology and Drainage, Developments in Water Science, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam-Oxford-New York, 1981.

SUBRAMANYA K. Flow in open channels, Editorial Mc Graw Hill, New York (1986).

----- Journal of Hidraulics Division Water-Resources Engineering, Spalially Varied Flow Over Side Weirs, 1969.

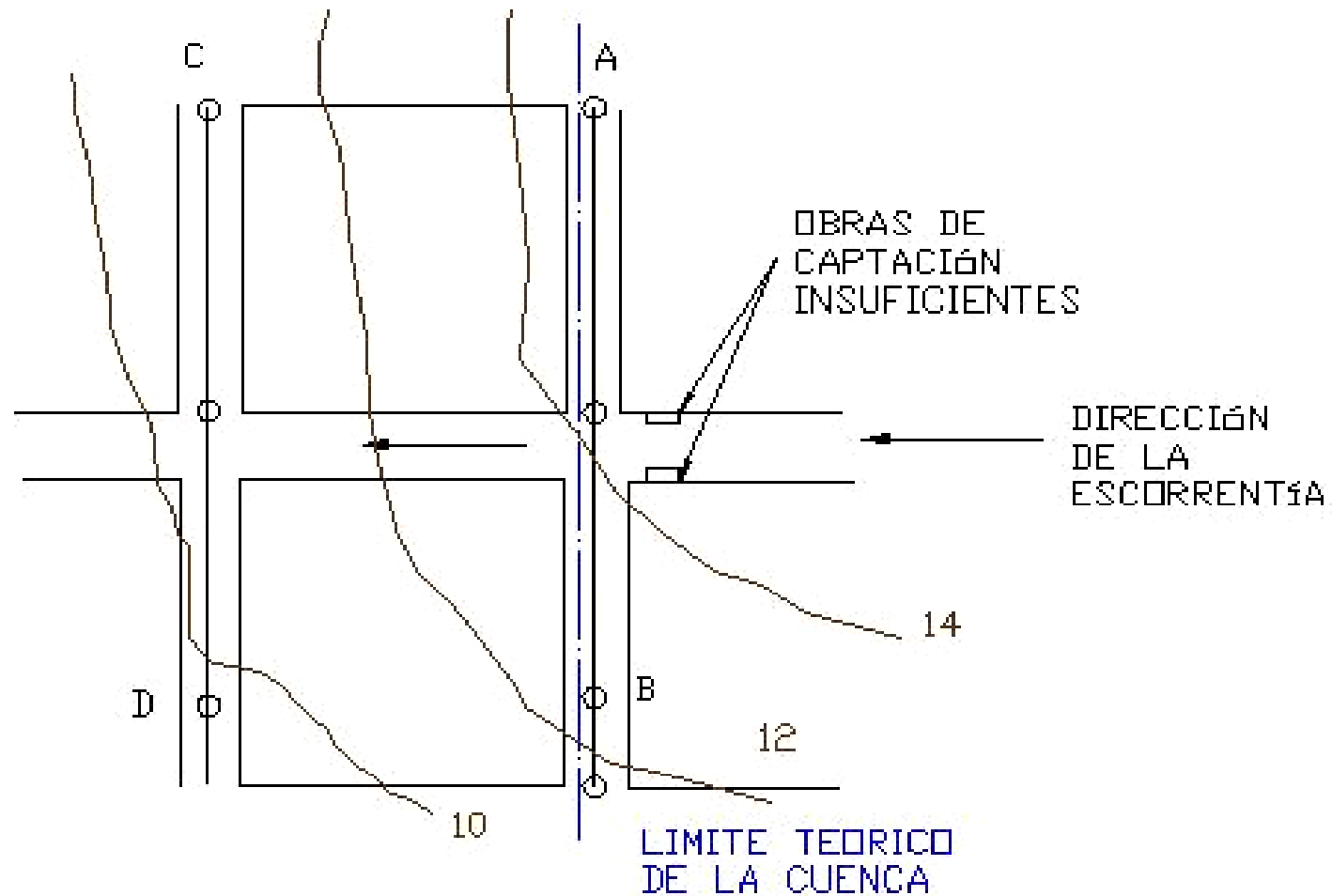
TEXAS DEPARMENT OF TRANSPORTATION. Hydraulics and Design Manual, Texas, 2002.

URBAN LAND INSTITUTE, NATIONAL, Association of home Builders, American Society of Civil Engineers (ASCE), Residential Storm water management, Objectives, principles and design considerations, New York, 1975.

U.S. DEPARMENT OF TRANSPORTATION (USDOT). Bridge Deck Drainage Guidelines, RD-87-014, Publication number FHWA-RD-79-30 and 31, Washington, 1979.

## ***ANEXO 1***

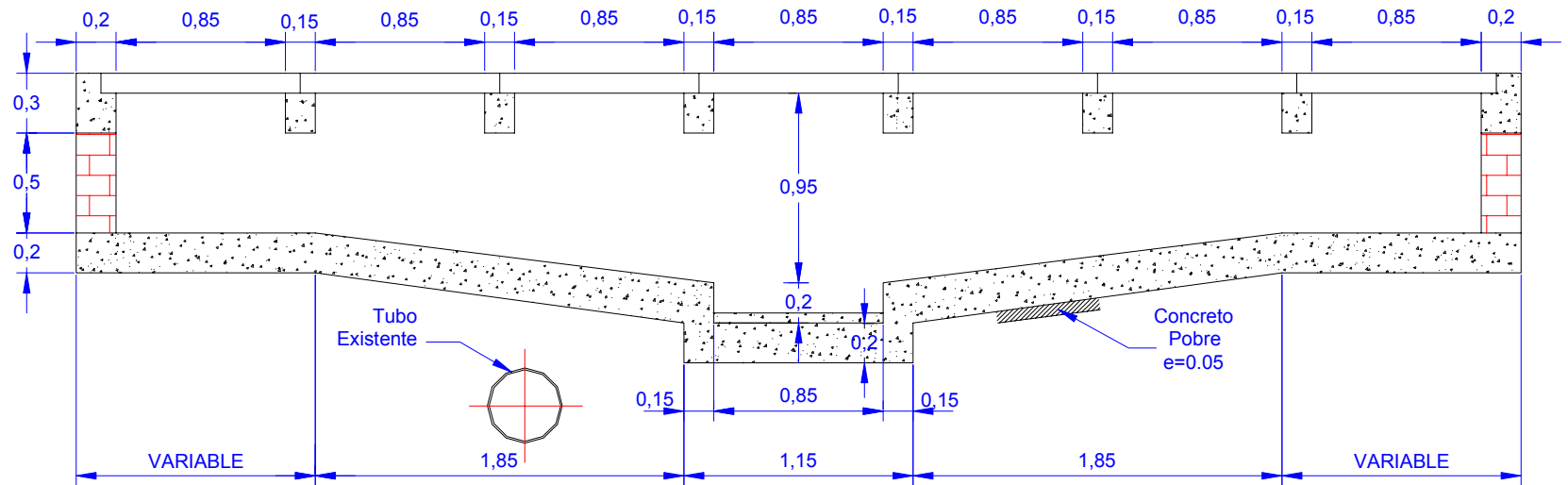
Anexo 1 **Figura 1. Transvase de caudales entre subcuencas**



Tomado de **Inundaciones y redes de drenaje urbano**, Universitat Politecnica de Catalunya, Escuela T.S. de Ingenieros Caminos, Canales y Puertos, Dep. Ing. Hidráulica, Marítima y Ambiental, Sección de Hidráulica e Hidrología, 1992

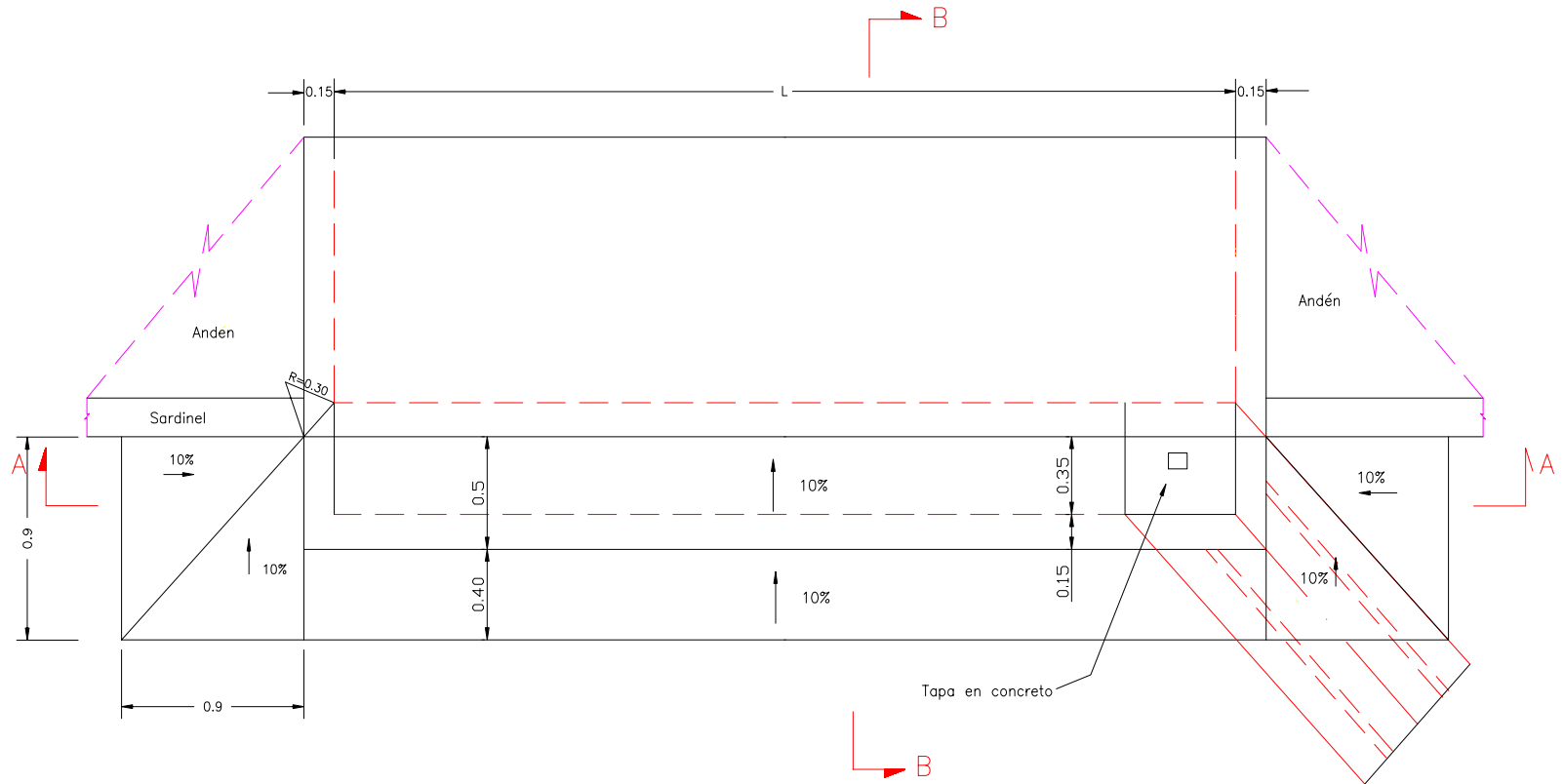


Anexo 1. Figura 3 Corte A-A Sumidero ST-500 (Normas 1984)



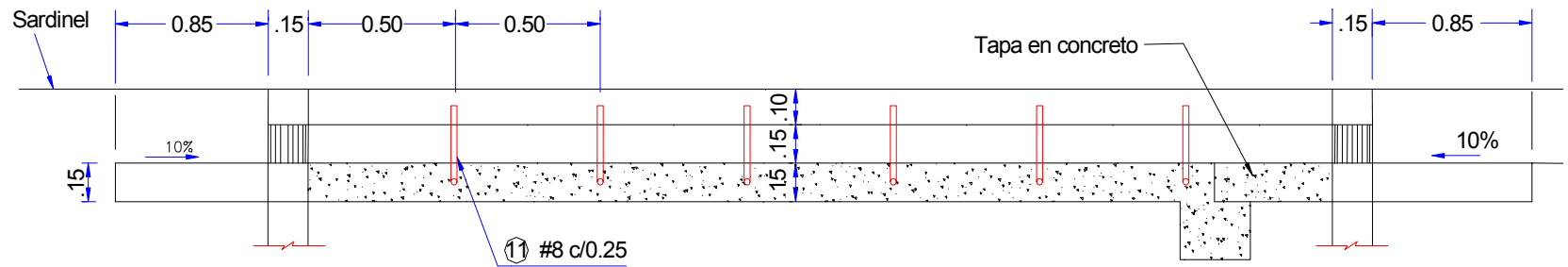
Tomado de CDMB, Normas Técnicas para diseño y presentación de proyectos de Alcantarillado, 1984

**Anexo 1. Figura 4 Plano de Planta de Sumidero (SL-200,SL-400,SL-600)  
HIDROESTUDIOS**



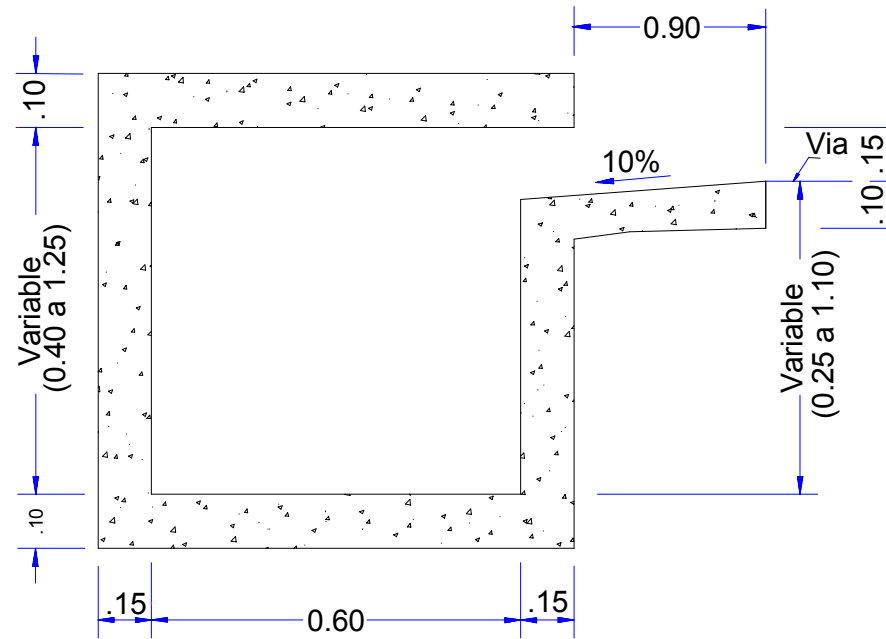
Tomado de Hidroestudios Ltda, Ingenieros Consultores, Informe No. 032-GA-91, Alcantarillado maestro diseño de sumideros, 1979

**Anexo 1. Figura 5 Corte A-A Plano Típico Hidroestudios**



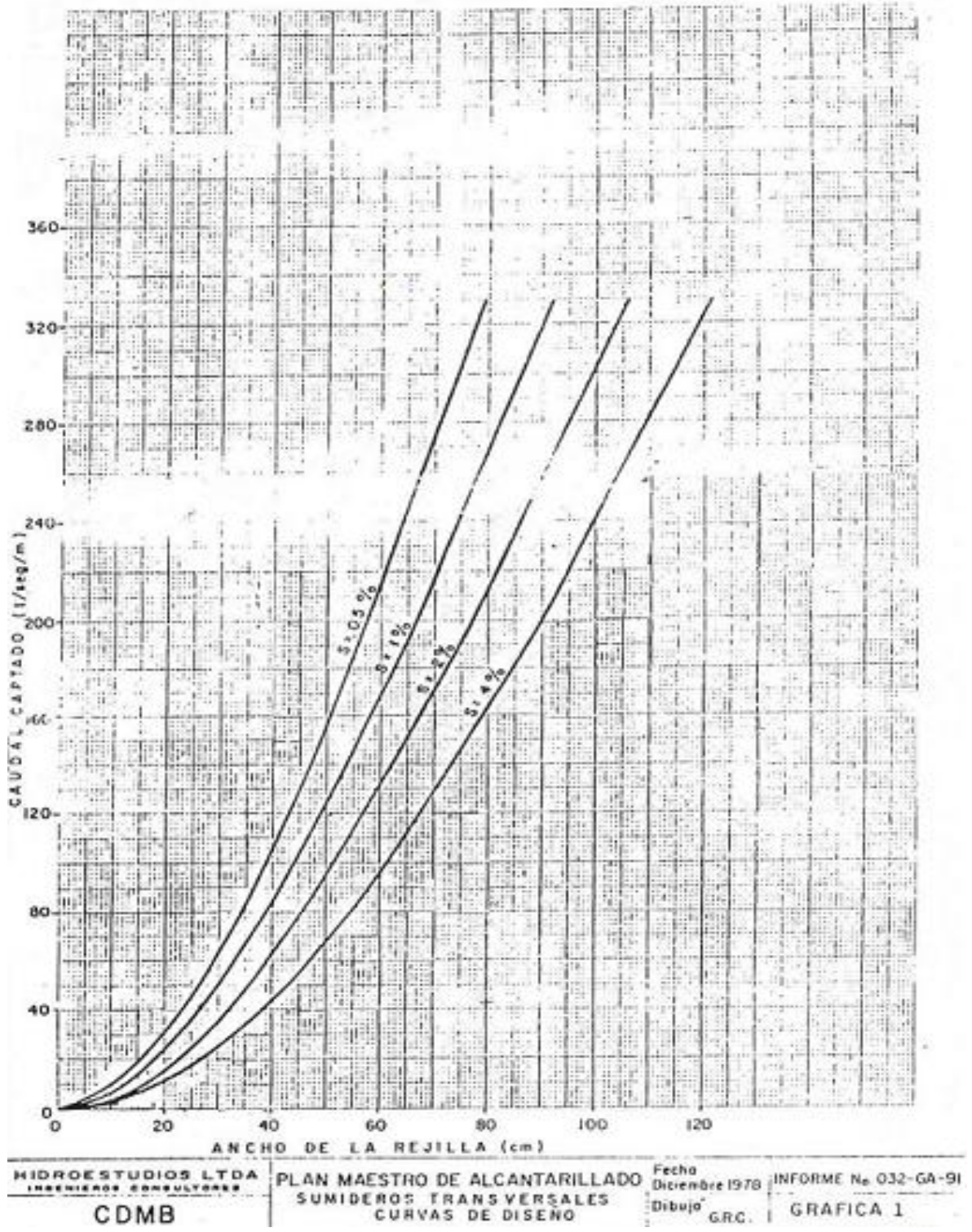
Tomado de Hidroestudios Ltda, Ingenieros Consultores, Informe No. 032-GA-91, Alcantarillado maestro diseño de sumideros, 1979

Anexo 1. **Figura 6 Corte B-B Plano Típico de Hidroestudios**



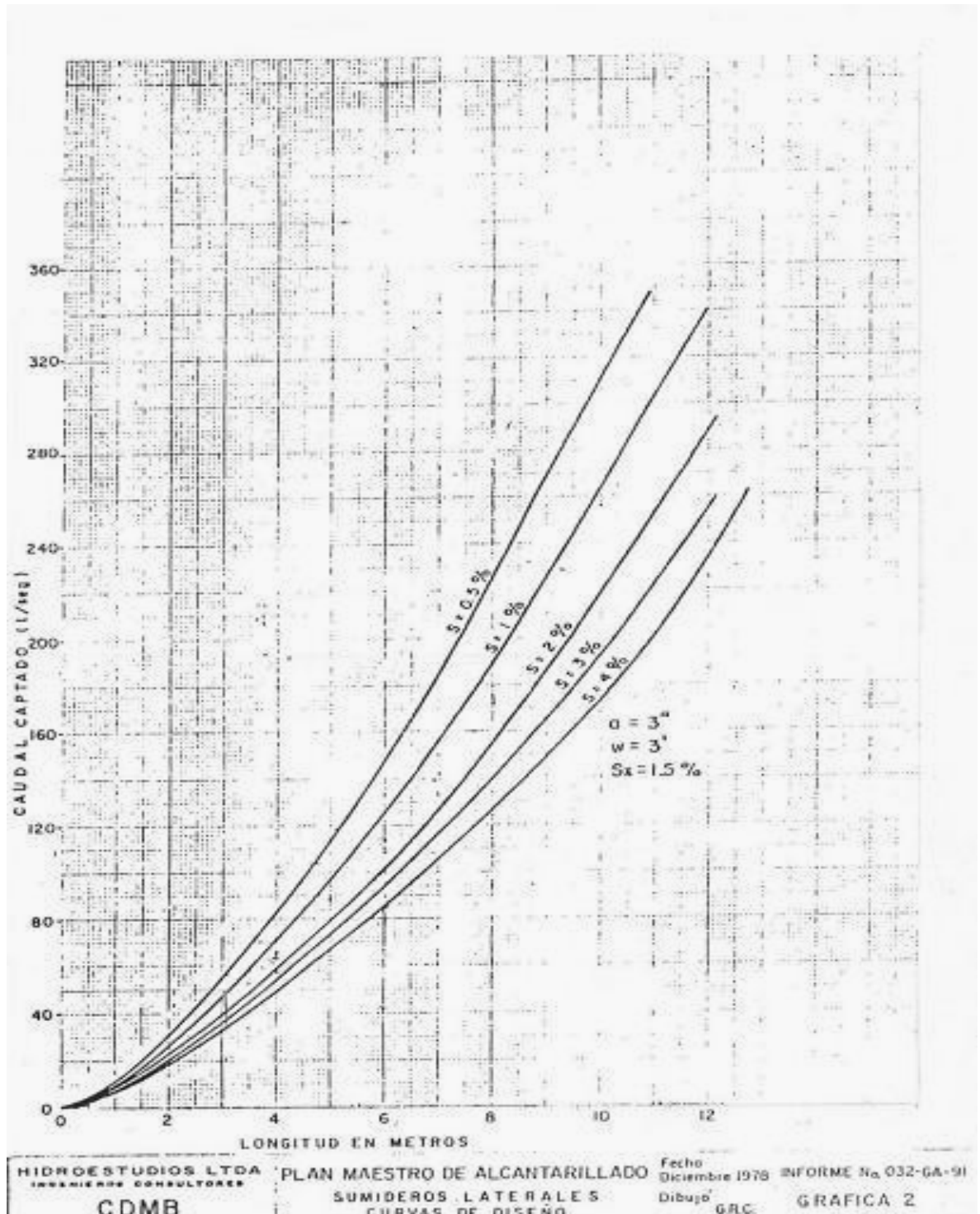
Tomado de Hidroestudios Ltda, Ingenieros Consultores, Informe No. 032-GA-91, Alcantarillado maestro diseño de sumideros, 1979

**Anexo1. Figura 7 Curvas de Diseño para sumideros Transversales (Hidroestudios 1979)**



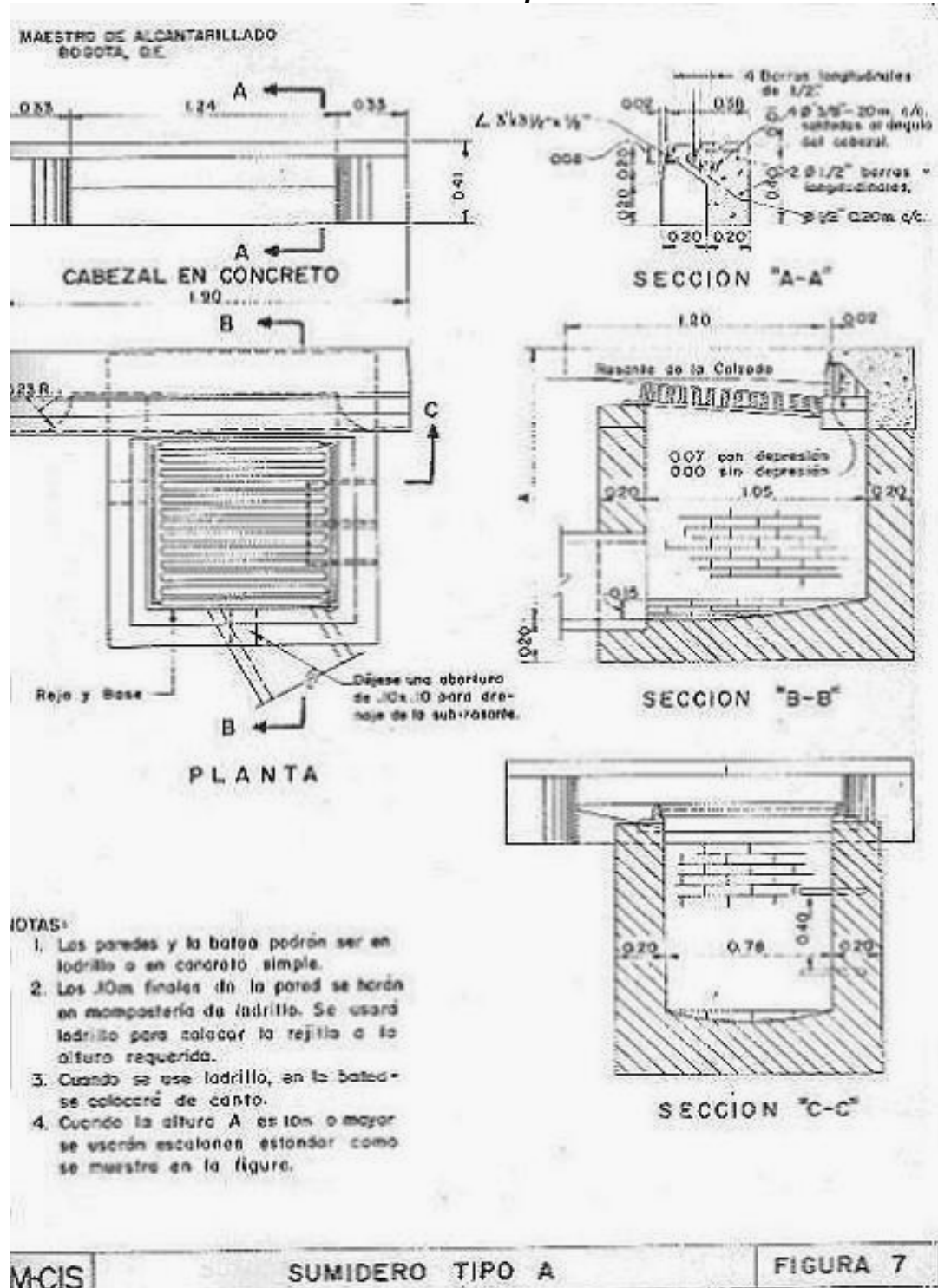
Tomado de Hidroestudios Ltda, Ingenieros Consultores, Informe N.º 032-GA-91, Alcantarillado maestro diseño de sumideros, 1979

**Anexo1. Figura 8 Curvas de diseño para sumideros Laterales (Hidroestudios 1979)**



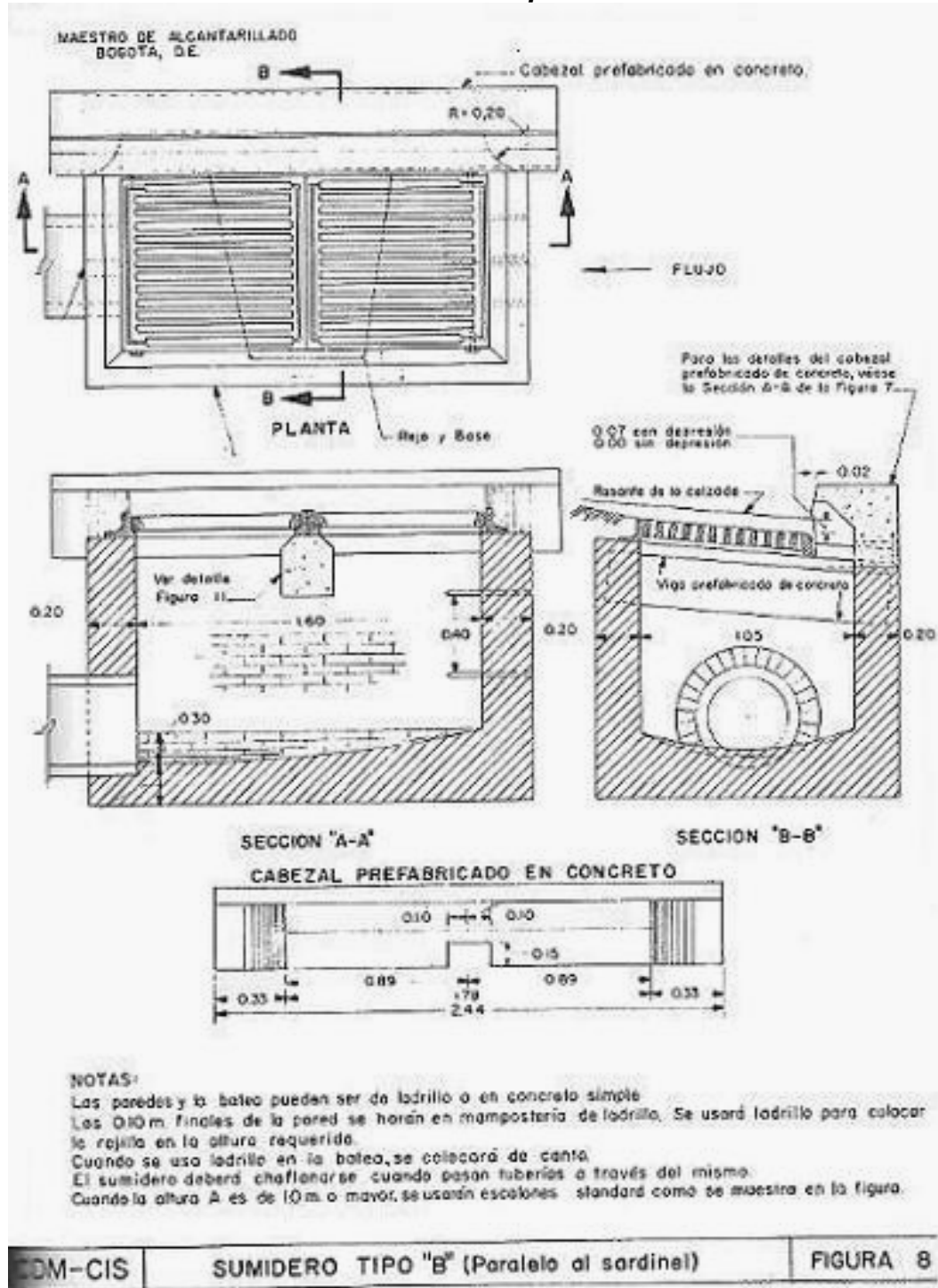
Tomado de Hidroestudios Ltda, Ingenieros Consultores, Informe N.º. 032-GA-91, Alcantarillado maestro diseño de sumideros, 1979

**Anexo1. Figura 9 Sumideros estandarizados en Bogotá  
Sumidero Tipo A**



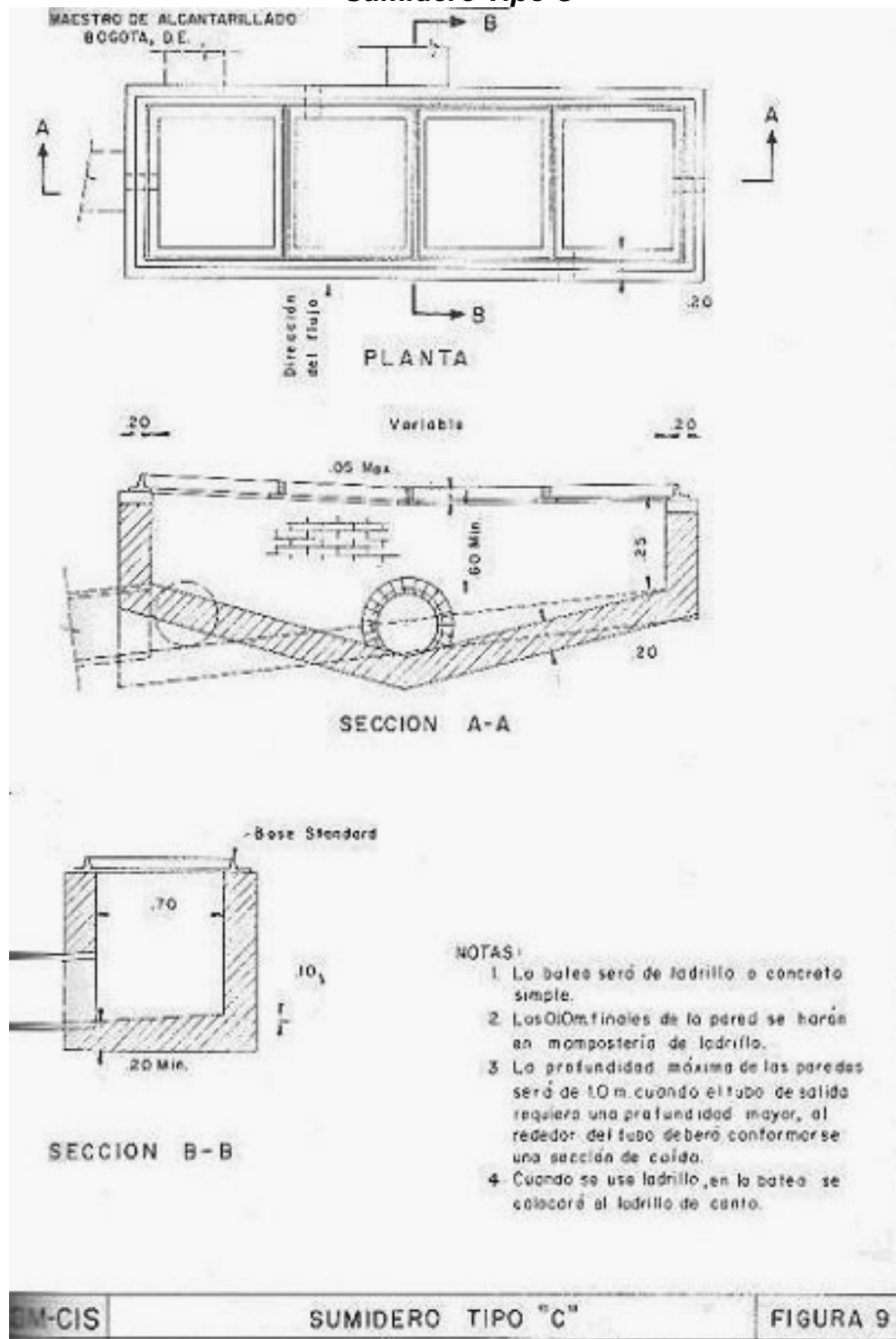
Tomado de DRESSER-MCKEE, Report on Master Plan for Sewage Works, (1962), Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.

**Anexo1. Figura 10 Sumideros estandarizados en Bogotá  
Sumidero Tipo B**



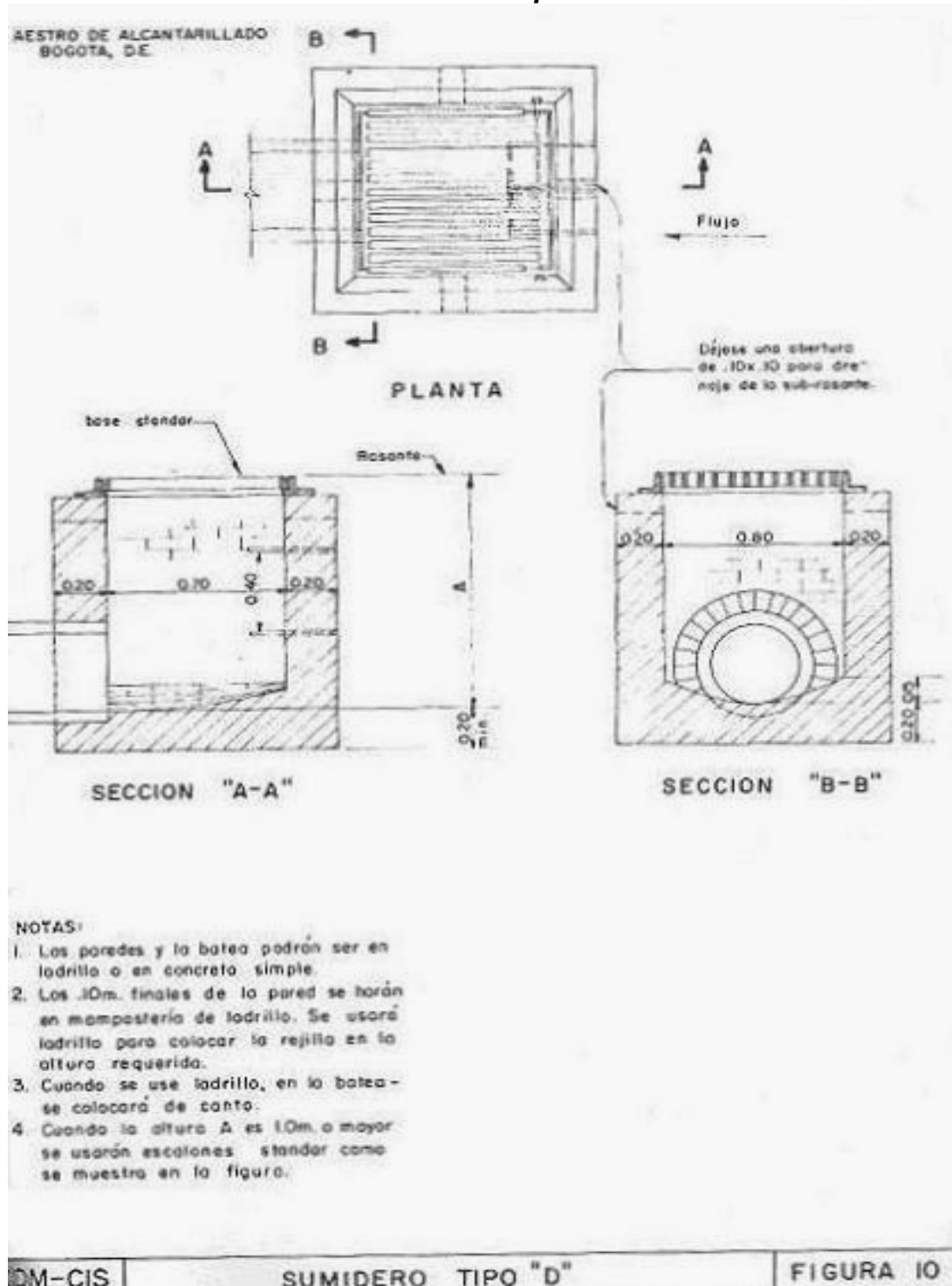
Tomado de DRESSER-MCKEE, Report on Master Plan for Sewage Works, (1962), Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.

**Anexo1. Figura 11 Sumideros estandarizados en Bogotá  
Sumidero Tipo C**



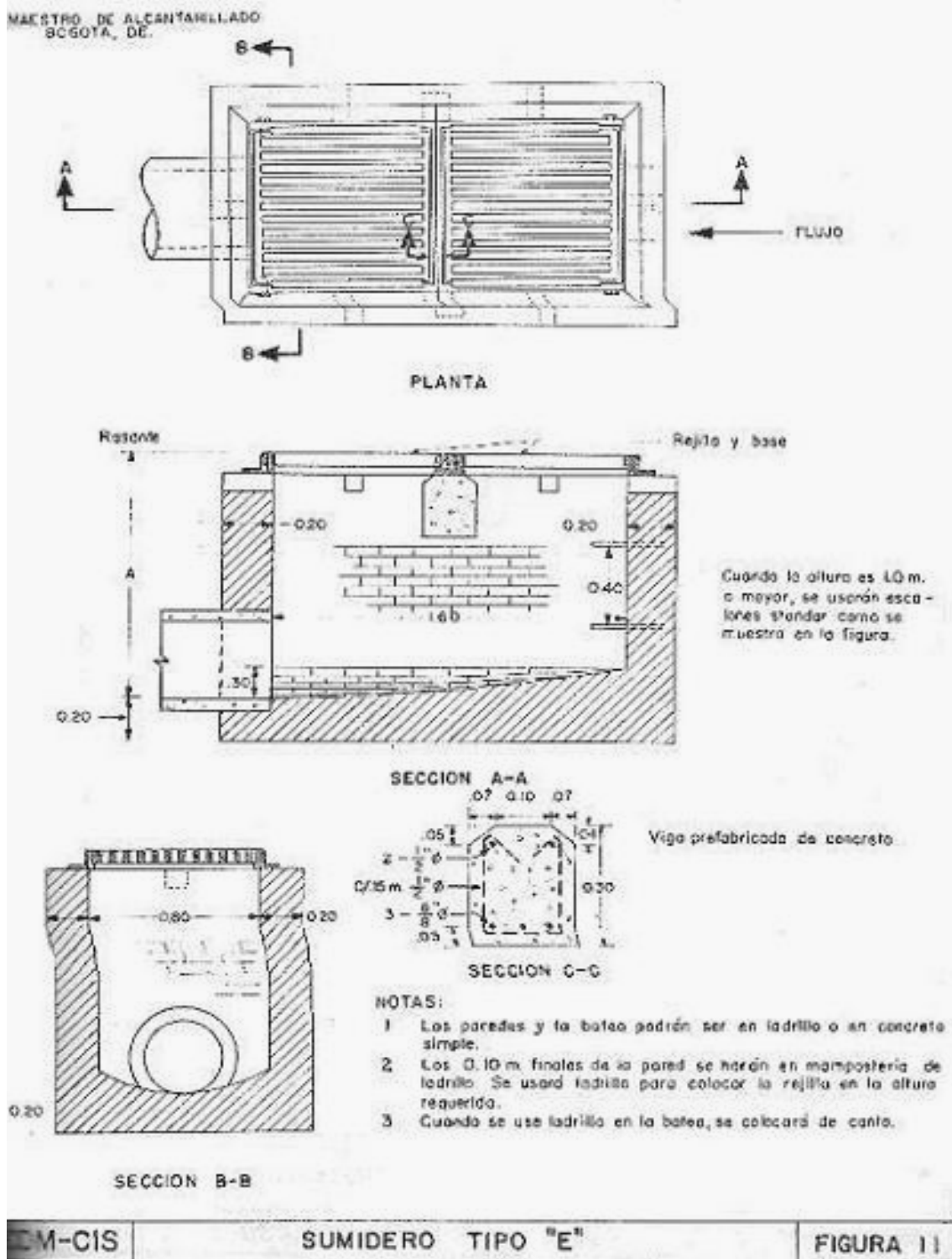
Tomado de DRESSER-MCKEE, Report on Master Plan for Sewage Works, (1962), Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.

**Anexo1. Figura 12 Sumideros estandarizados en Bogotá  
Sumidero Tipo D**



Tomado de DRESSER-MCKEE, Report on Master Plan for Sewage Works, (1962), Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.

**Anexo1. Figura 13 Sumideros estandarizados en Bogotá  
Sumidero Tipo E**

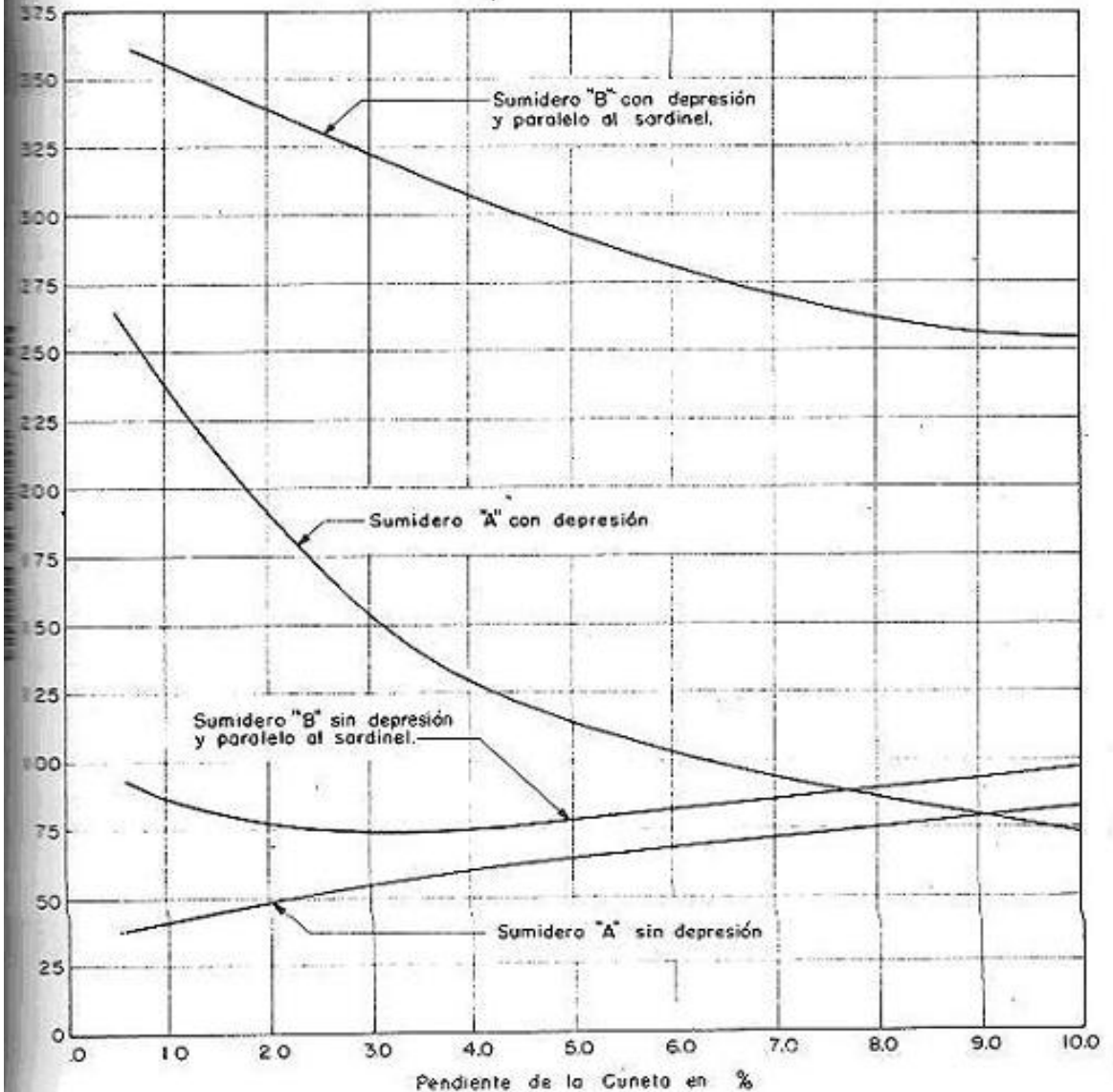


Tomado de DRESSER-MCKEE, Report on Master Plan for Sewage Works, (1962), Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.

**Anexo1. Figura 14 Curvas de capacidad de los sumideros estándares Bogotá**

MAESTRO DE ALCANTARILLADO  
BOGOTÁ, D.E.

Curvas basadas en los datos de 1.952-1.953 "Report of Storm Water Research Committee" John Hopkin's University, Institute of Cooperative Research and Baltimore County Standard Details.  
Las curvas son para los sumideros mostrados  
Las capacidades de los sumideros han sido reducidas en el 20 % para tener en cuenta el efecto de ensuciamiento en las rejillas por desechos.  
Las capacidades se basan en cuneta con sardinel de 0.8 m y pendiente de 1:18 en la calzada y para distancia de 2.0 m. a partir del sardinel.



CDM-CIS

CURVAS DE CAPACIDAD DE SUMIDEROS

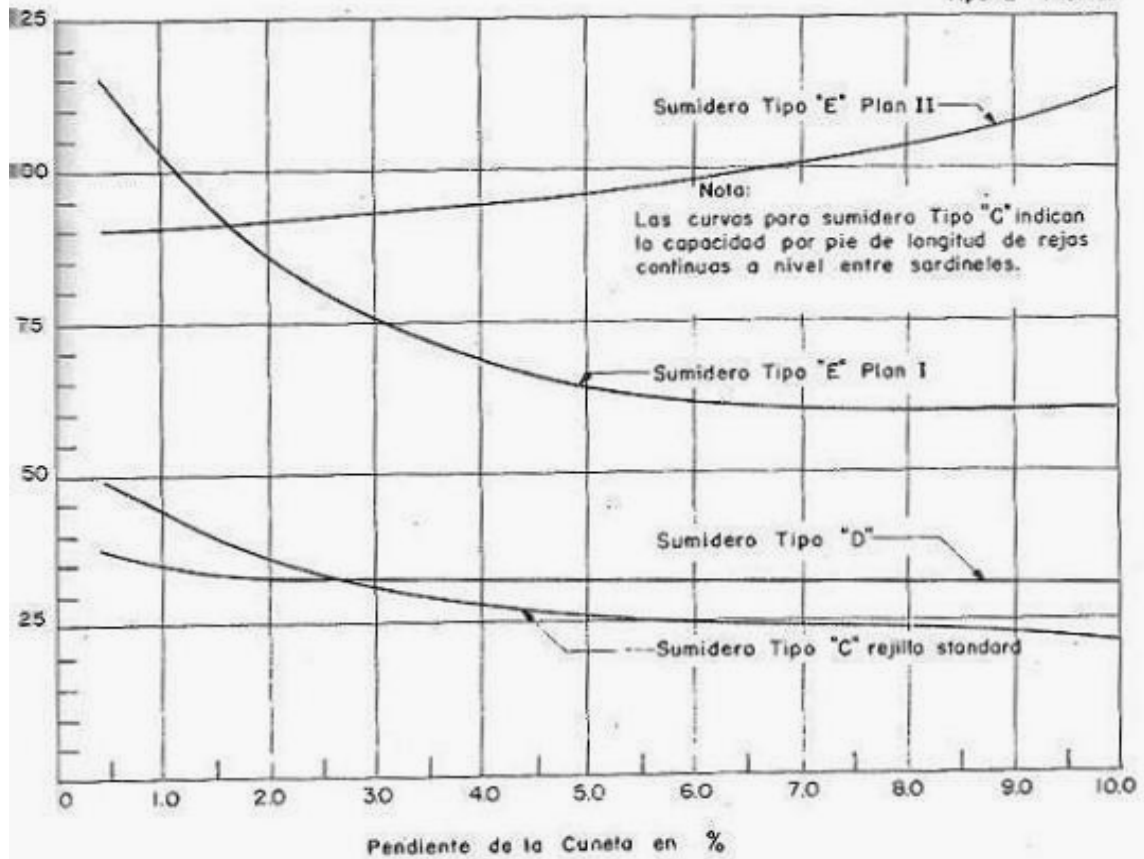
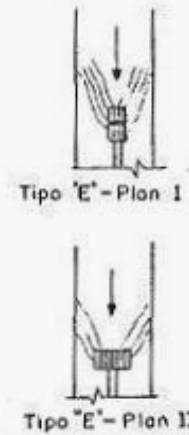
FIGURA 15

Tomado de DRESSER-MCKEE, Report on Master Plan for Sewage Works, (1962), Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.

**Anexo1. Figura 15 Curvas de Capacidad de los sumideros  
Sumideros estándares Bogotá**

**Notas:**

Estos sumideros no deben ser usados en pozos recolectores.  
 Las curvas están basadas en los datos de: 1952-1953 "Report of Storm  
 Water Research Committee" John Hopkin's University, Institute of Cooperative  
 Research, and Baltimore County Standard Details.  
 Las curvas son para sumideros mostrados en las Figuras: 9, 10 y 11.  
 Las capacidades de los sumideros han sido reducidas en el 30% para  
 tener en cuenta el efecto de atascamiento en los rejillas por desechos.  
 Las capacidades se basan en callejones de 5 metros y pendiente de 0.13 m.  
 al centro del callejón.



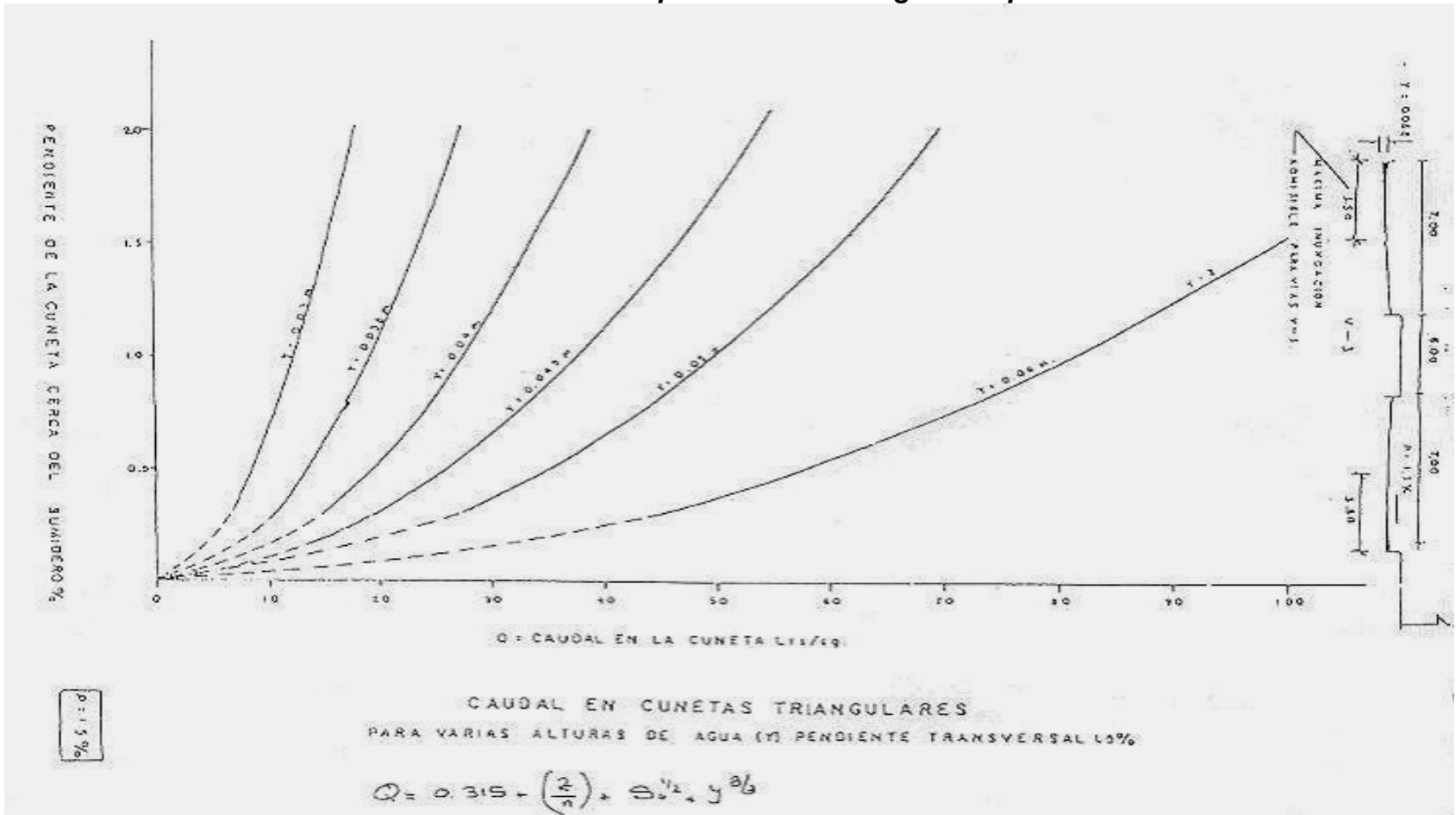
DM-CIS

CURVAS DE CAPACIDAD DE SUMIDEROS

FIGURA 16

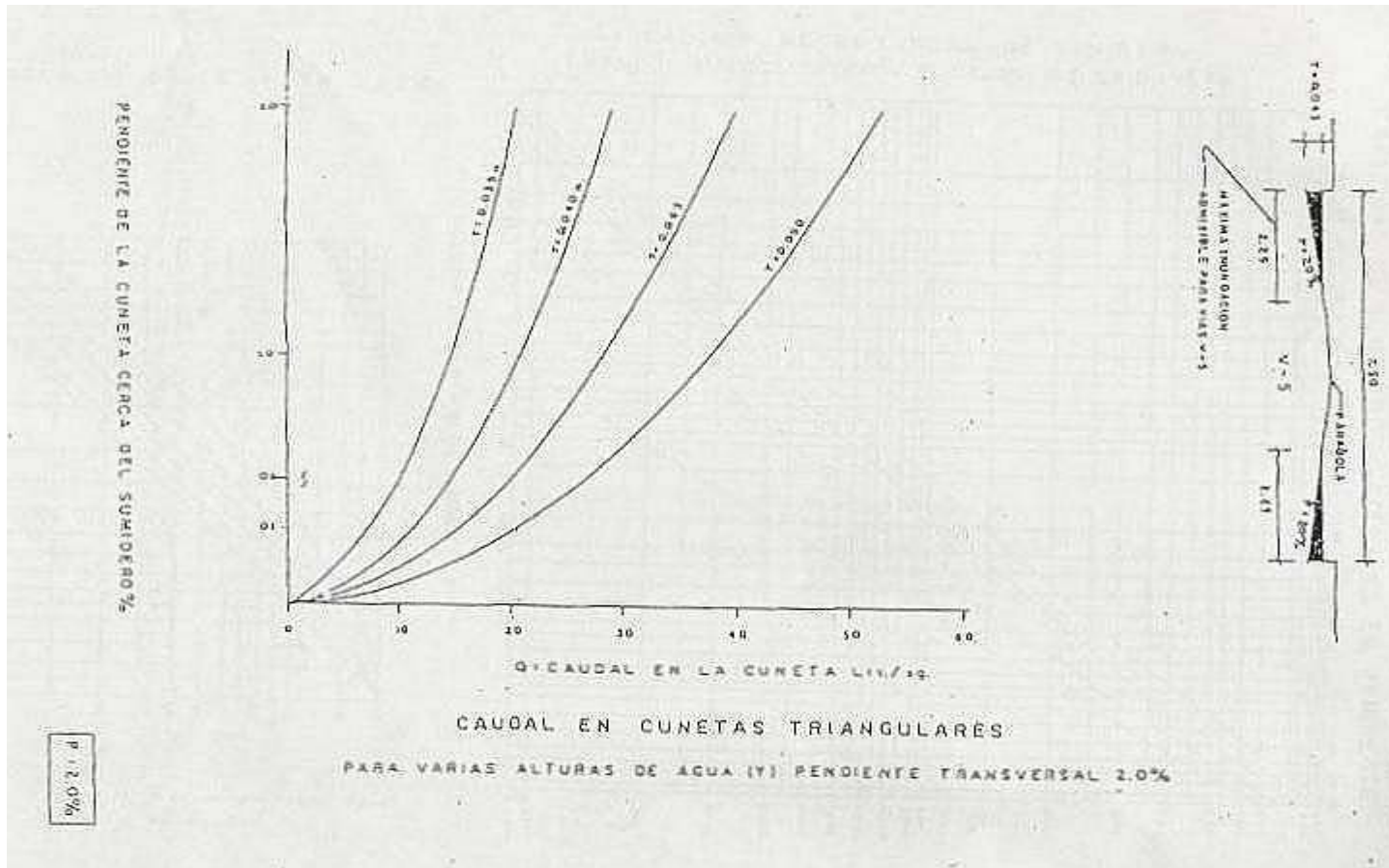
Tomado de DRESSER-MCKEE, Report on Master Plan for Sewage Works, (1962), Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.

**Anexo1. Figura 16 Curvas de Diseño de sumideros Medellín**  
**Caudal circulante en la vía para canales triangulares p=1.5%**



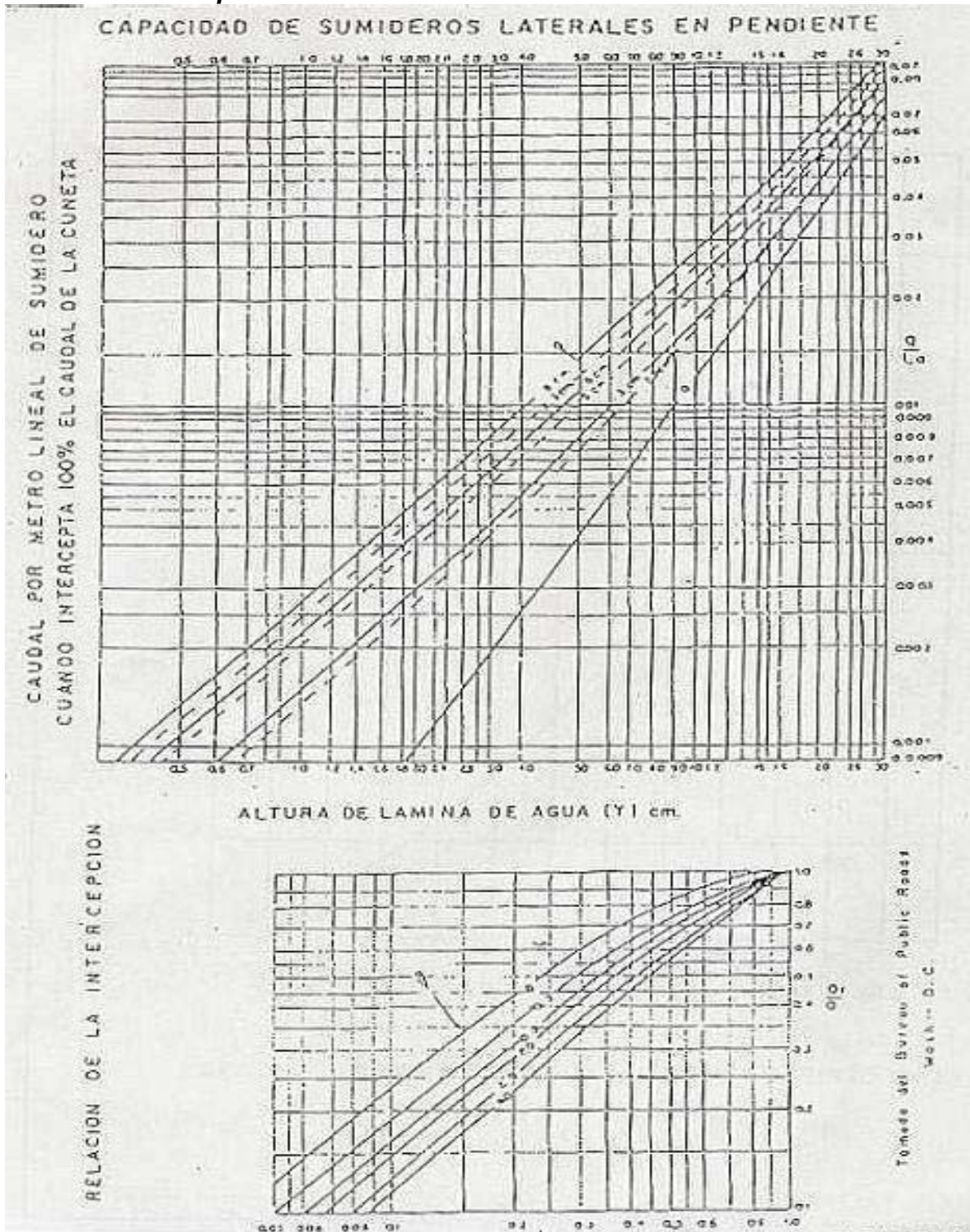
Tomado de PACHECO, Raúl, Nuevo Procedimiento para el cálculo de drenaje en Urbanizaciones, Restrepo y Uribe Ltda., Ingenieros consultores (1976)

**Anexo1. Figura 17 Curvas de Diseño de sumideros Medellín**  
**Caudal circulante en la vía para canales triangulares  $p=2.0\%$**



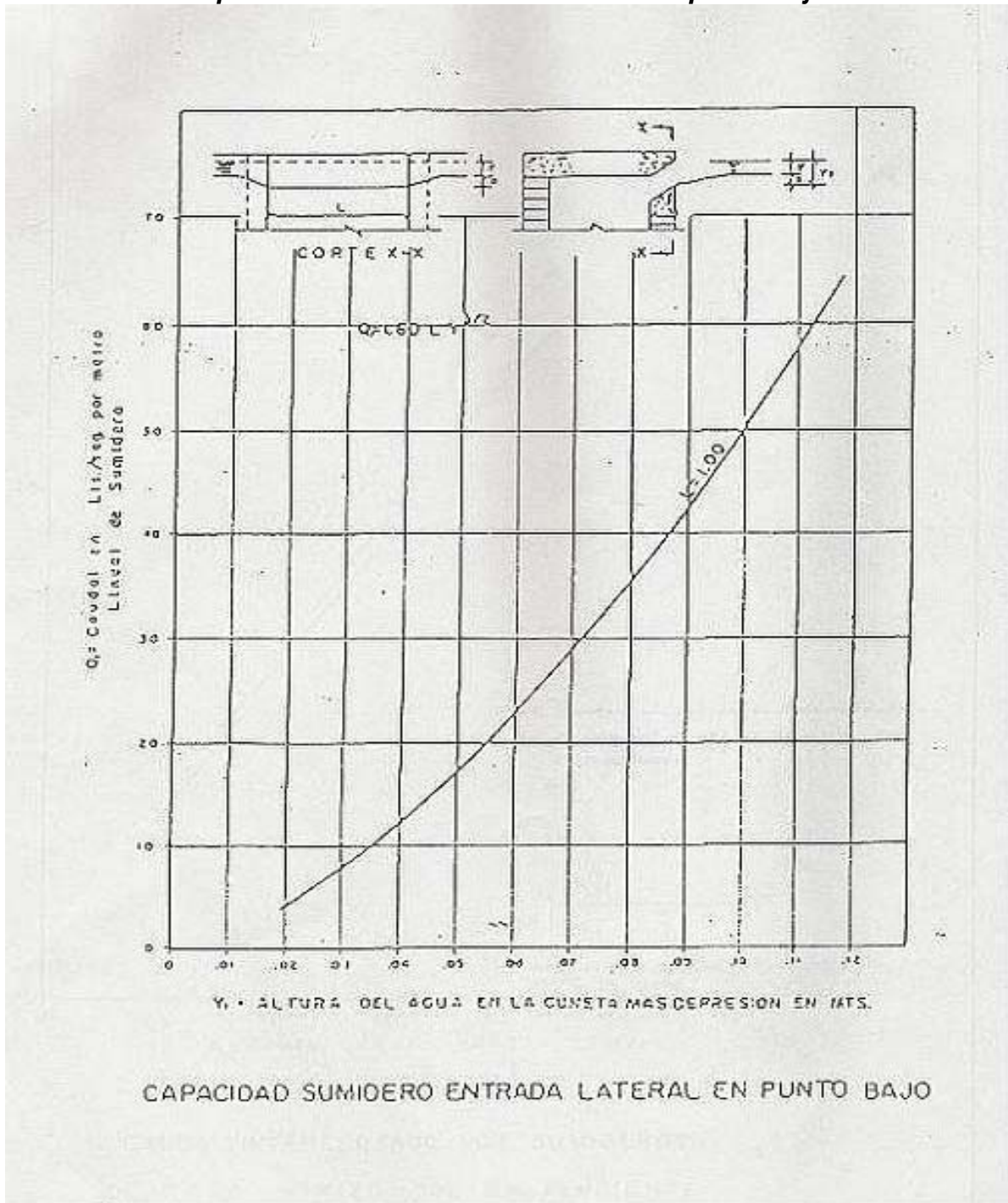
Tomado de PACHECO, Raúl, Nuevo Procedimiento para el cálculo de drenaje en Urbanizaciones, Restrepo y Uribe Ltda., Ingenieros consultores (1976)

**Anexo1. Figura 18 Curvas de Diseño de sumideros Medellín  
Capacidad de Sumideros Laterales en Pendiente**



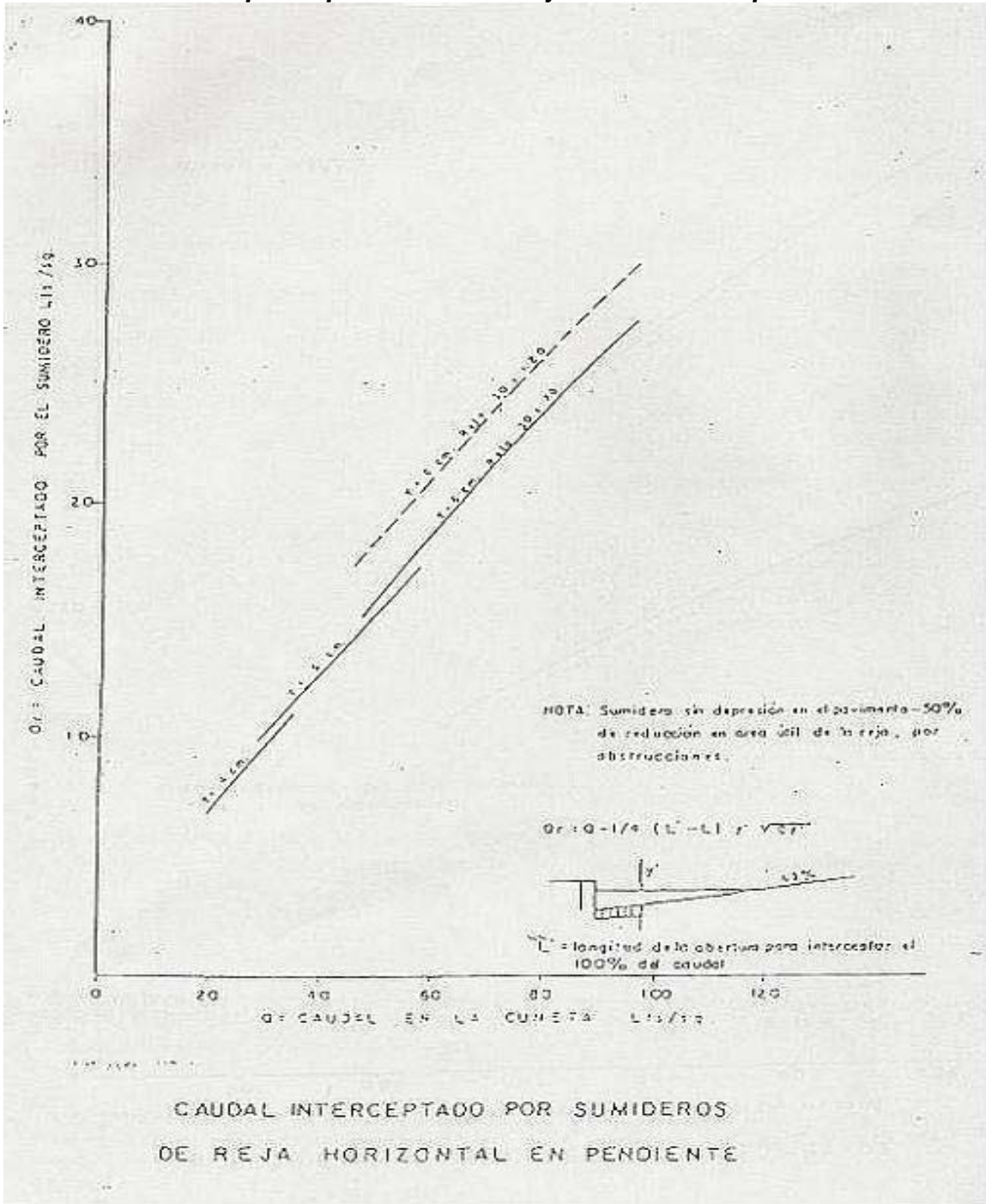
Tomado de PACHECO, Raúl, Nuevo Procedimiento para el cálculo de drenaje en Urbanizaciones, Restrepo y Uribe Ltda., Ingenieros consultores (1976)

**Anexo1. Figura 19 Curvas de Diseño de sumideros Medellín  
Capacidad sumidero entrada lateral en punto bajo**



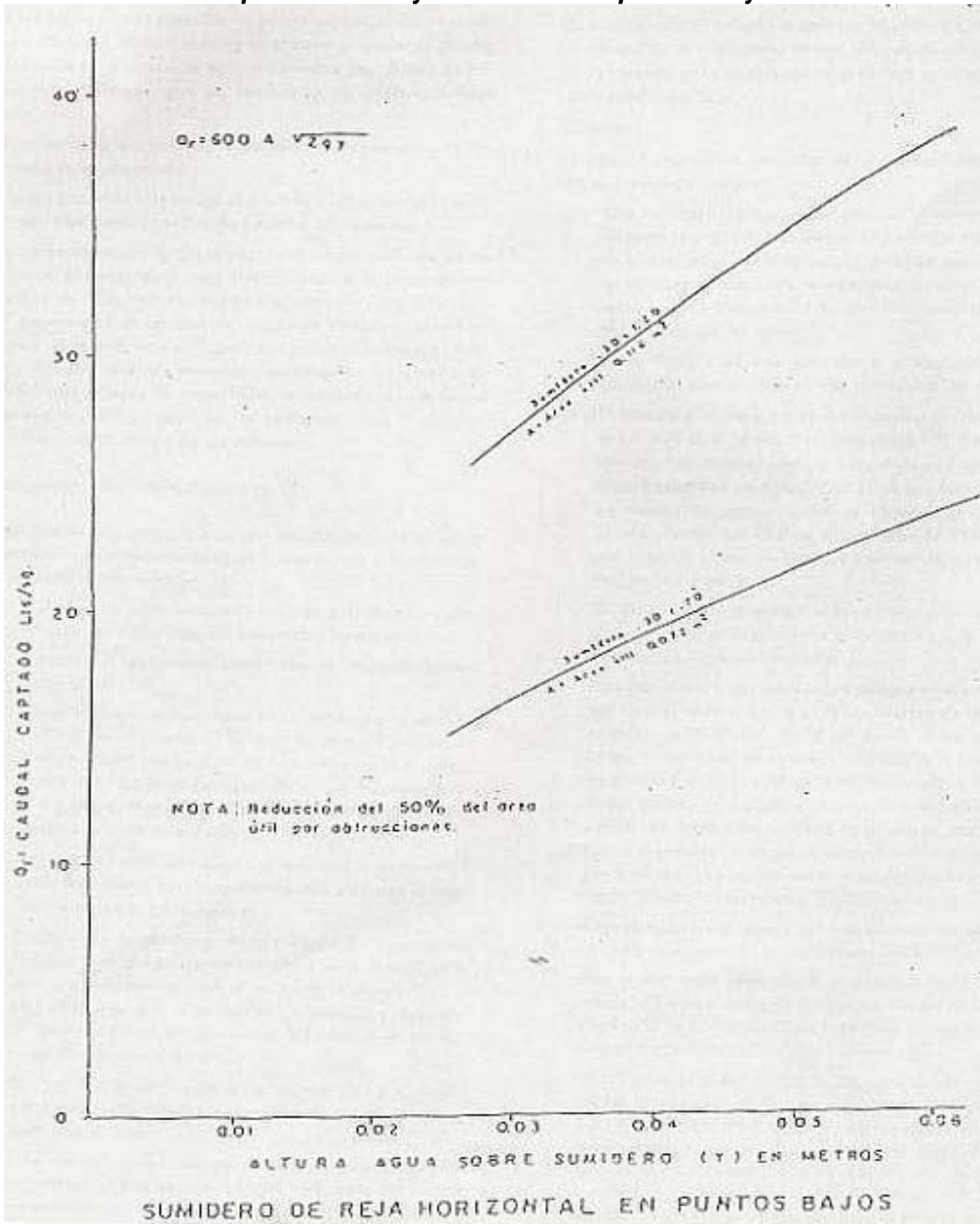
Tomado de PACHECO, Raúl, Nuevo Procedimiento para el cálculo de drenaje en Urbanizaciones, Restrepo y Uribe Ltda., Ingenieros consultores (1976)

**Anexo1. Figura 20 Curvas de Diseño de sumideros Medellín**  
**Caudal captado por sumideros reja horizontal en pendiente**



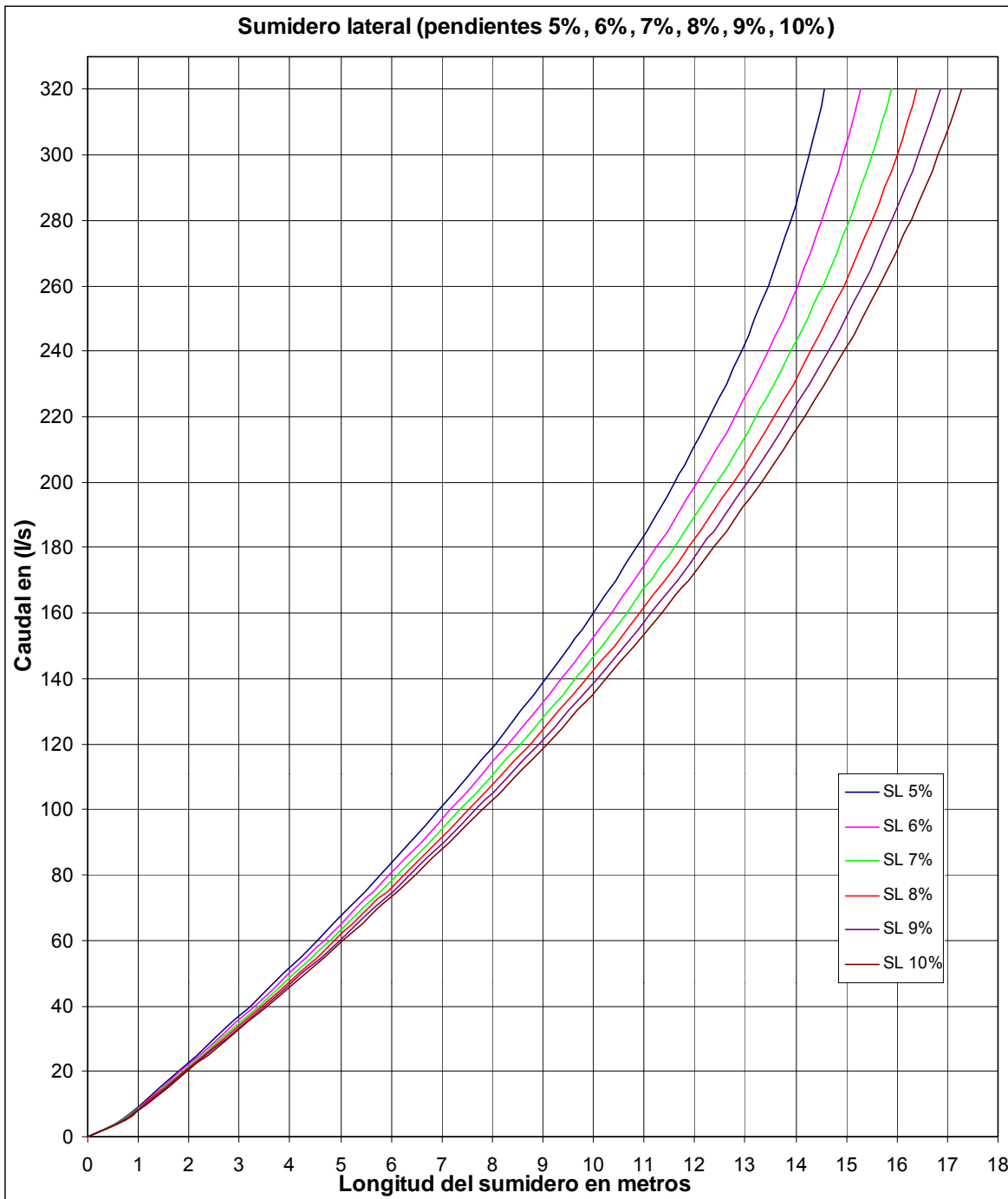
Tomado de PACHECO, Raúl, Nuevo Procedimiento para el cálculo de drenaje en Urbanizaciones, Restrepo y Uribe Ltda., Ingenieros consultores (1976)

**Anexo1. Figura 21 Curvas de Diseño de sumideros Medellín  
Capacidad de reja horizontal en puntos bajos**



Tomado de PACHECO, Raúl, Nuevo Procedimiento para el cálculo de drenaje en Urbanizaciones, Restrepo y Uribe Ltda., Ingenieros consultores (1976)

**Anexo1. Figura 22 Curvas de diseño para sumideros Laterales  
Pendientes superiores o iguales al 5 %**



Tomado de notas del Ingeniero Ludwing Uribe, Director plan maestro de alcantarillado pluvial y sanitario

***ANEXO 3***

**Anexo 3. Tabla 1 Valores de la constante a de velocidad superficial**

TIPO DE SUPERFICIE	a
Bosque con sotobosque denso	0.7
Pastos y Patios	2.0
Áreas cultivadas en surcos	2.7
Suelos Desnudos	3.15
Áreas pavimentadas, tramos iniciales de quebradas	6.5

Tomado de RAS-2000, Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, Sección II, Título D, Sistemas de recolección de aguas Residuales Domesticas y Pluviales, Ministerio de Desarrollo Económico sección de agua Potable (2000)

**Anexo 3. Tabla 2 Valores de coeficiente de rugosidad de Manning (n)**

FORMA Y MATERIAL	"n" DE MANNING
Tubería de Cloruro de Polivinilo	0.010
Tubería prefabricada de asbesto-cemento	0.010
Tubería prefabricada en concreto	0.013
Tubería prefabricada en gres	0.014
Tubería de concreto reforzado, fundida en situ y con juntas elaboradas	0.015
Tubería de ladrillo común y vitrificado	0.016
Tubería en concreto reforzado, fundida en situ y con juntas rugosas	0.017
Canales, canaletas y cunetas de concreto simple o reforzado fundida en situ, con juntas rugosas	0.017

Tomado de RAS-2000, Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, Sección II, Título D, Sistemas de recolección de aguas Residuales Domesticas y Pluviales, Ministerio de Desarrollo Económico sección de agua Potable (2000)

**Anexo 3. Tabla 3 Coeficiente de escorrentía o impermeabilidad (RAS-2000)**

Tipo de Superficie	C
Cubiertas	0,75-0,95
Pavimentos Asfálticos y superficies en concreto	0,70-0,95
Vías Adoquidanas	0,70-0,85
Zonas Comerciales o industriales	0,60-0,95
Residencial, con casas contiguas, predominio de zonas duras	0,75
Residencial multifamiliar con bloques contiguos y zonas duras entre estos	0,60-0,75
Residencial, unifamiliar, con casas contiguas y predominio de jardines	0,40-0,60
Residencial, con casas rodeadas de jardines o multifamiliares apreciablemente separados	0,45
Residencial, con predominio de zonas verdes, parques-cementerios	0,3
Laderas sin vegetación	0,6
Laderas con vegetación	0,3
Parques recreacionales	0,20-0,35

Tomado de RAS-2000, Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, Sección II, Título D, Sistemas de recolección de aguas Residuales Domesticas y Pluviales, Ministerio de Desarrollo Económico sección de agua Potable (2000)

**Anexo 3. Tabla 4 Valores de coeficiente de escorrentía para la ciudad de Bucaramanga (CDBM)**

SECTOR	(C)
1. Comercial	0.9
2. Desarrollo residencial con casas contiguas y predominio de zonas duras	0.8
3. Desarrollo residenciales multifamiliares con bloque contiguos y zonas duras entre ellos	0.7
4. Desarrollos residenciales unifamiliares con casas contiguas y predominio de jardines	0.6
5. Residencial con casas rodeadas de jardines	0.6
6. Desarrollos residenciales con multifamiliares apreciablemente separados	0.5
7. Áreas recreacionales con predominio de zonas verdes y cementerios tipo jardines	0.3

Tomado de CDBM, Normas Técnicas para diseño y presentación de proyectos de Alcantarillado, Convenio Sena\_Camacol, 2000

**Anexo 3. Tabla 5 Clasificación de los suelos método de la (NCRS)**

TIPO A	(Bajo potencial de escorrentía). Suelos con alta tasa de infiltración incluso cuando están saturados (7.6 mm/hr a 11.4 mm/hr). Estos suelos consisten en sobre todo las arenas profundas con poco limo, arcilla y gravas profundas.
TIPOB	(Moderadamente bajo potencial de escorrentía). Suelos con tasas de infiltración moderadas, cuando están saturados (3.8 mm/hr a 7.6 mm/hr), Estos suelos consisten en suelos bien drenados, texturas moderadamente finas a moderadamnte gruesas, arenas finas y limos moderadamente gruesas, arenas finas y limos
TIPOC	(Moderadamente alto potencial de escorrentía) Suelos de infiltración lenta, cuando están saturados (1.3 mm/hr a 3.8 mm/hr). Estos suelos consisten básicamente en suelos moderadamente profundos y profundos con bajo contenido de materia orgánica y alto contenido de arcilla, arenas arcillosas poco profundas y arcillas.
TIPOD	(Alto potencial de escorrentía). Suelos con infiltración muy lenta, suelos arcillosos con alto potencial expansivo, suelos salinos con nivel freático alfa permanente.

Tomado de TEXAS DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, Hydraulics and Design Manual, 2002

**Anexo 3. Tabla 6 Valores de (RCN) para condición de antecedente tipo II Cuencas Rurales**

USO DE LA TIERRA	TRATAMIENTO DEL SUELO COBERTURA	PENDIENTE (%)	TIPO DE SUELO			
			A	B	C	D
Sin cultivo	Surcos rectos	-----	77	86	91	94
	Surcos rectos	>1	72	81	88	91
Cultivos en surco	Surcos rectos	<1	67	78	85	89
	Contorneo	>1	70	79	84	88
	Contorneo	<1	65	75	82	86
	Terrazas	>1	66	74	70	82
	Terrazas	<1	62	71	78	81
	Surcos rectos	>1	65	76	84	88
	Surcos rectos	<1	63	75	83	87
Cereales	Contorneo	>1	63	74	82	85
	Contorneo	<1	61	73	81	84
	Terrazas	>1	61	72	79	82
	Terrazas	<1	59	70	78	81
	Surcos rectos	>1	66	77	85	89
	Surcos rectos	<1	58	72	81	85
	Contorneo	>1	64	75	83	85
Leguminosas o praderas con rotación	Contorneo	<1	55	69	78	83
	Terráceo	>1	63	73	80	83
	Terráceo	<1	51	67	76	80
	-----	>1	68	79	86	89
Pastizales	-----	<1	39	61	74	80
	Contorneo	>1	47	67	81	88
Pradera Permanente	Contorneo	<1	6	35	70	79
	-----	<1	30	58	71	78
Bosques Naturales	-----	-----	56	75	86	91
	Muy Ralo	-----	46	68	78	84
	Ralo	-----	36	60	70	77
	Normal	-----	26	52	62	69
	Espeso	-----	15	44	54	61
	Muy Espeso	-----	72	82	87	89
	Caminos de terracería	-----	74	84	90	92
Con superficie Dura	-----	-----	-----	-----	-----	

Tomado de GAVILÁN LEÓN, Germán Eduardo, Manual de Diseño de Drenajes Superficiales y Subsuperficiales en vías, 2001

**Anexo 3. Tabla 7 Valores de (RCN) para condición de antecedente tipo II  
Cuencas Urbanas**

<b>Tipo de cobertura y condición hidrológica</b>	<b>% de áreas impermeable</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
<i>Campos abiertos, campos de golf, pastos, parques y cementerios</i>		68	79	86	89
Condición pobre (cobertura vegetal < 50%)		49	69	79	84
Condición normal (cobertura vegetal entre 50% y 75%)		39	66	74	80
Condición buena (cobertura vegetal > 75%)					
Parqueaderos, lotes pavimentados, tejados, vías vehiculares		98	98	98	98
<i>Calles y carreteras</i>					
Pavimentos, con sumideros y bordillos		98	98	98	98
Pavimentos, con drenajes formados por canales abiertos		83	89	92	93
Gravilla		76	85	89	91
Lodo, basura, fango		72	82	87	89
<i>Áreas urbanas desérticas</i>					
Desiertos naturales paisajísticos (Con la totalidad de áreas permeables)		63	77	85	88
Desiertos artificiales (Con barreas de maleza, áreas impermeables, con vías y sardineles, entre 1 y 2 pulgadas cubiertas por arena y grava).		96	96	96	96
<i>Distritos urbanos</i>					
Comercial	85	89	92	94	95
Industrial	72	81	88	91	93
Distritos residenciales con un área promedio					
- 1/8 de acre	65	77	85	90	92
- 1/4 de acre	38	61	75	83	87
- 1/3 de acre	30	57	72	81	86
- 1/2 de acre	25	54	70	80	85
- 1 acre	20	51	68	79	84
- 2 acres	12	46	65	77	82
Notas: Los valores de áreas impermeables fueron los utilizados para estimar los valores de RCNs, las cuales están conectadas directamente con el alcantarillado. Las áreas impermeables tienen un RCN de 98 y las áreas permeables se consideran equivalentes al espacio abierto en buenas condiciones hidrológicas.					

Tomado de TEXAS DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, Hydraulics and Design Manual, 2002

**Anexo 3. Tabla 8 Clasificación de condición de Humedad antecedente por el método de (NCRS)**

Condición de Humedad antecedente	Si 5 días antes hubo lluvia	Fórmula para S
Tipo I	Menor de 2.5 cm	$RCN_{I} = \frac{4.2 * RCN_{II}}{10 - 0.058 * RCN_{II}}$ (Ecuación 2.25)
Tipo II	Entre 2.5 y 5 cm	$RCN_{II}$ (Tabla 2.13)
Tipo III	Más de 5 cm	$RCN_{III} = \frac{23 * RCN_{II}}{10 + 0.13 * RCN_{II}}$ (Ecuación 2.26)

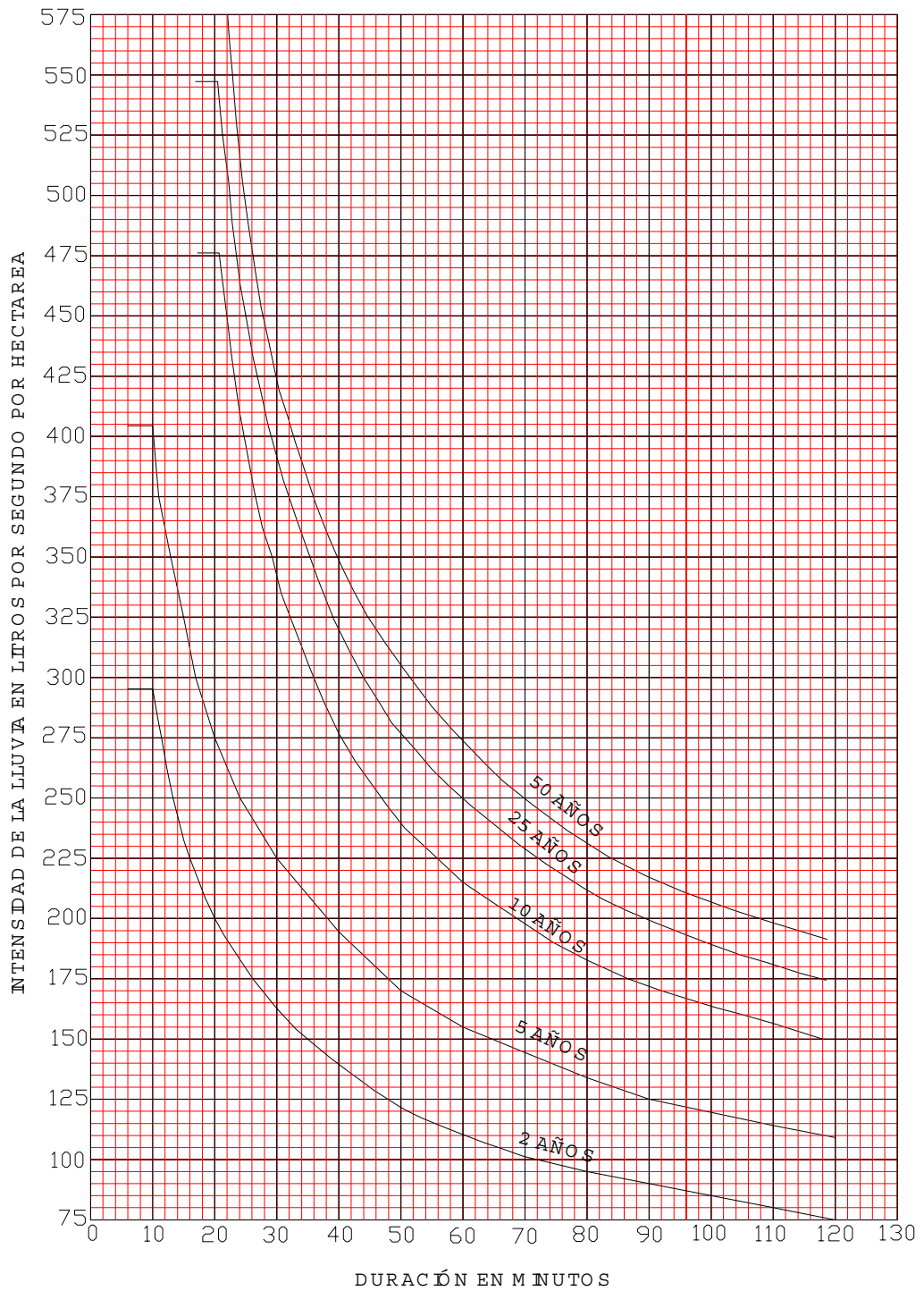
Tomado de TEXAS DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, Hydraulics and Design Manual, 2002

**Anexo 3. Tabla 9 Grupos de precipitación para las condiciones antecedentes de humedad del suelo durante el crecimiento y estaciones inactivas**

CONDICIÓN ANTECEDENTE	DESCRIPCIÓN	SI LOS 5 DIAS ANTERIORES HUBO LLUVIA	SI LOS 5 DIAS ANTES NO HUBO LLUVIA
Condición de humedad Antecedente Seca Tipo I	Una condición óptima de los suelos de la cuenca, donde están secos los suelos pero no al punto que se marchitez.	Menos de 35 mm	Menos de 12 mm
Condición de humedad Antecedente normal Tipo II	El promedio de las precipitaciones anuales	Entre 35 y 53 mm	Entre 12 y 28 mm
Condición de humedad Antecedente lluviosa Tipo III	Cuando hay fuertes lluvias, la precipitación es alta y hay bajas temperaturas, durante los cinco días anteriores a una tormenta dada	Más de 53 mm	Más de 28 mm

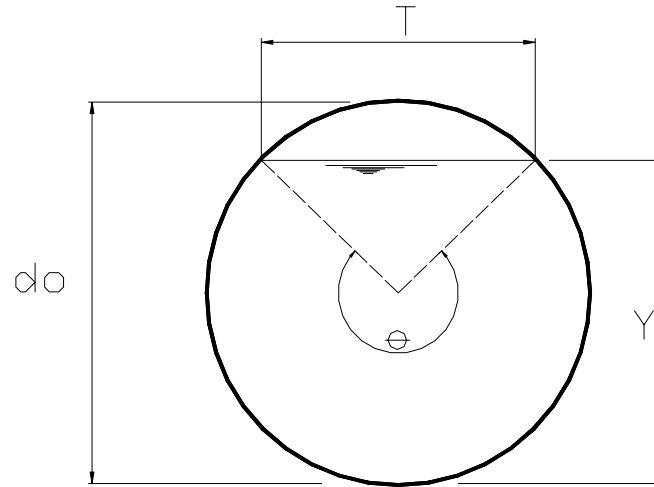
Tomado de TEXAS DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, Hydraulics and Design Manual, 2002

**Anexo 3. Figura 1 Curvas Intensidad- Frecuencia – Duración para la ciudad de Bucaramanga**



Tomado de CDMB, Normas Técnicas para diseño y presentación de proyectos de Alcantarillado, Convenio Sena-Camacol, 2000

**Anexo 3. Figura 2 Elementos geométricos de un canal de sección circular**



**Área**

$$A = \frac{1}{8} * (\theta - \text{sen } \theta) * d_o^2$$

**Perímetro Mojado**

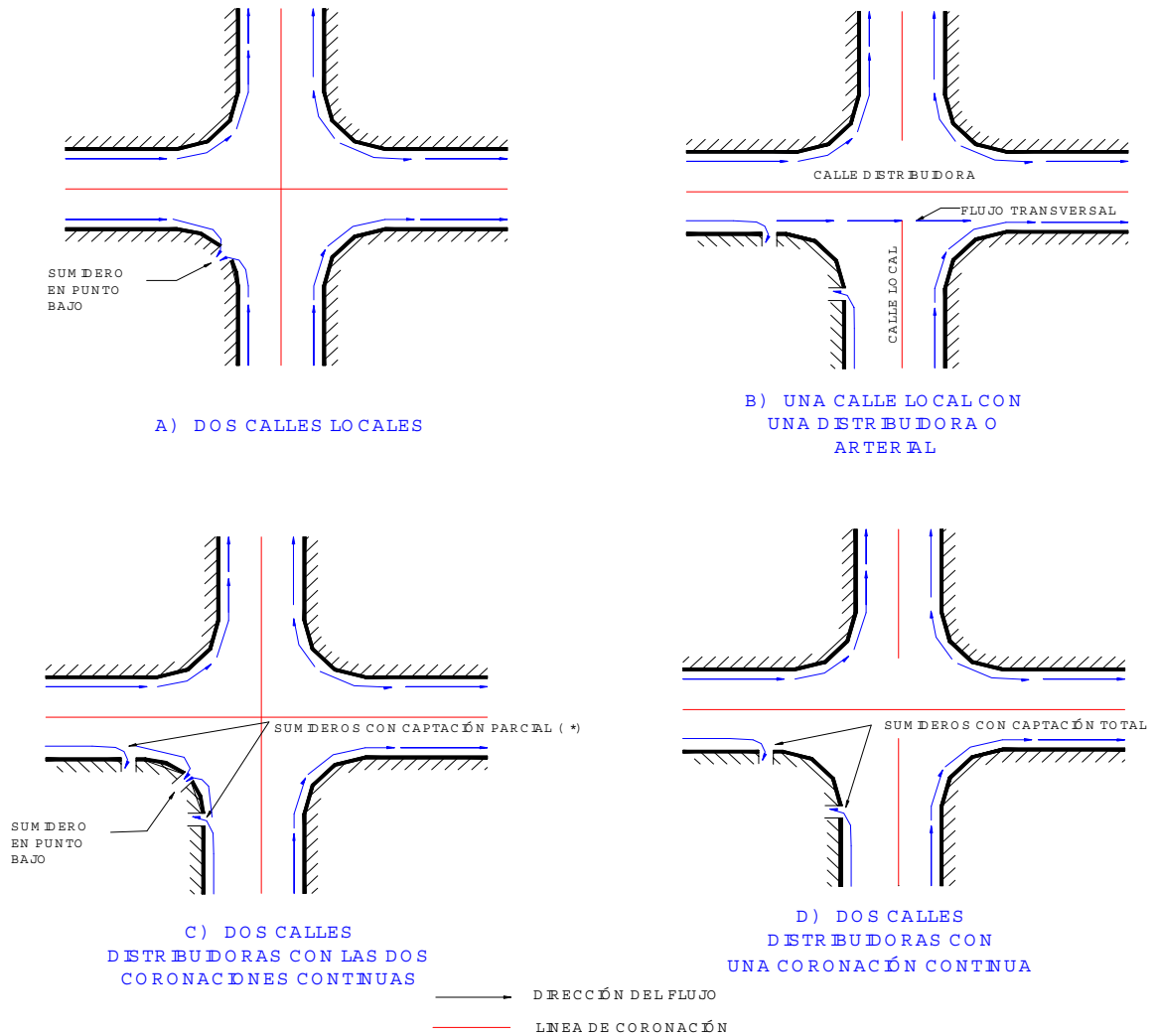
$$P = \frac{1}{2} * \theta * d_o$$

**Radio Hidráulico**

$$R = \frac{1}{4} * \left( 1 - \frac{\text{sen } \theta}{\theta} \right) * d_o$$

Tomado de CHOW, V. T, HIDRÁULICA DE CANALES ABIERTOS, Editorial Mc GRAW Hill, 1994.

**Anexo 3. Figura 3 Uso de sumideros en Intersecciones Típicas de calles**

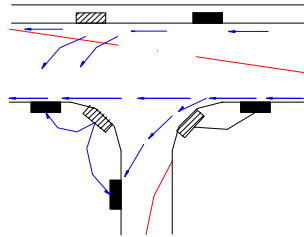


(\*) Sob son necesarios si el sumidero en punto bajo por si solo crea un área inundada inaceptable

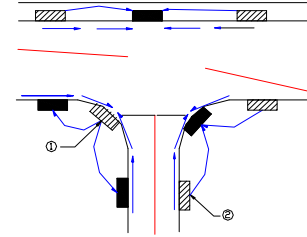
Podrían necesitarse sumideros adicionales si la capacidad de la calle es excedida

Tomado de BOLINAGA J.J, Drenaje Urbano, Instituto Nacional de Obras Sanitarias de Venezuela,

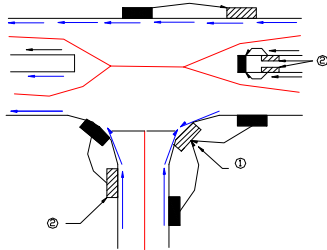
**Anexo 3. Figura 4 Ejemplo de Localización Típica de Sumideros**



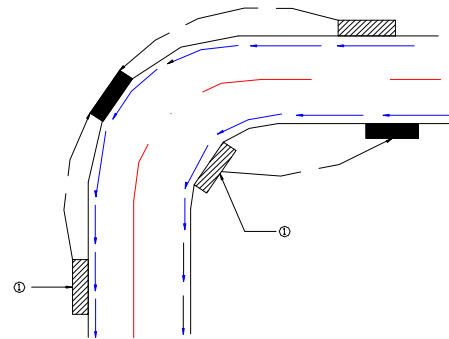
A) CRUCE CALLES LOCALES



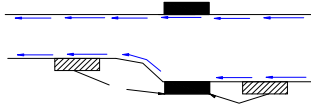
B) CRUCE CALLE LOCAL Y DISTRIBUIDORA



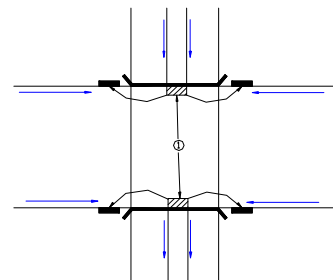
C) CRUCE CALLE LOCAL Y ARTERIAL



D) CURVA EN CALLE LOCAL



e) ENSANCHAMIENTO EN CALLE LOCAL



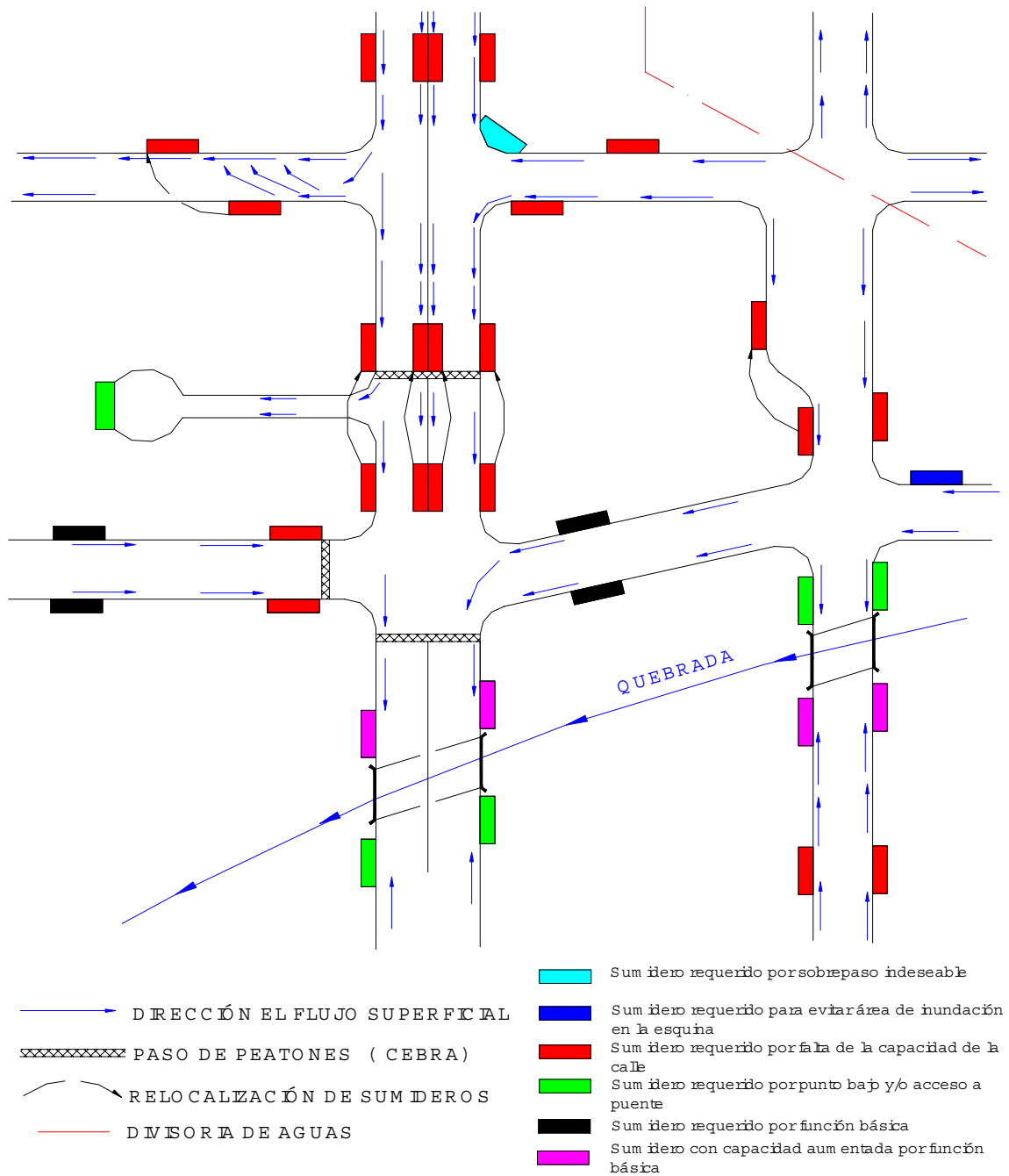
f) CALLE LOCAL CON PUENTE SOBRE CANAL O RÍO

- DRECCIÓN DEL FLUJO SUPERFICIAL
- LINEA DE CORONACIÓN
- SUMIDERO CORRECTAMENTE UBICADO
- ▨ SUMIDERO INCORRECTAMENTE UBICADO

- ① SUMIDERO NECESARIO SOLO SI HAY SOBREPASO INDESEABLE
- ② SUMIDERO NECESARIO SI EL AREA REMANENTE ES EXCESIVA

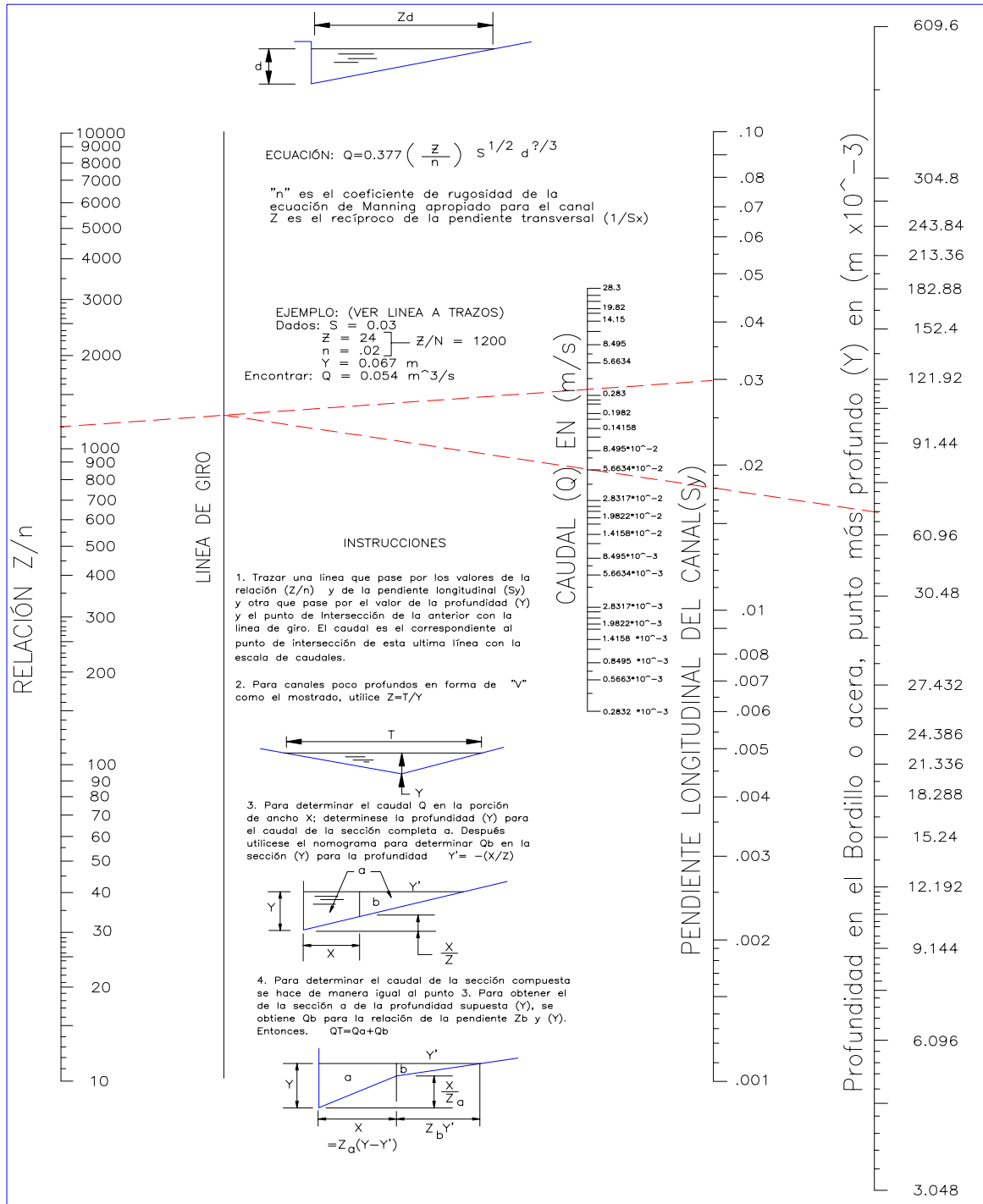
Tomado de BOLINAGA J.J, Drenaje Urbano, Instituto Nacional de Obras Sanitarias de Venezuela

**Anexo 3. Figura 5 Ejemplo de Localización Típica de Sumideros**



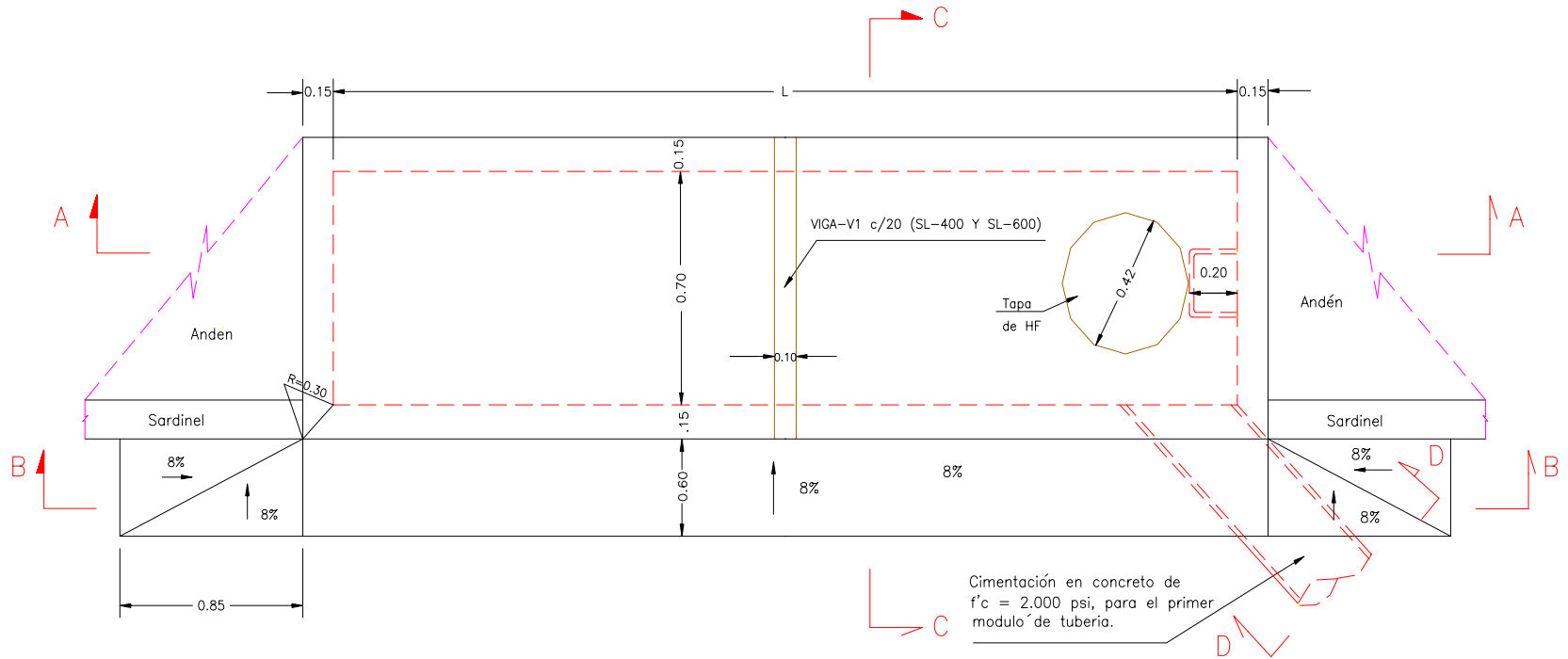
Tomado de BOLINAGA J.J, Drenaje Urbano, Instituto Nacional de Obras Sanitarias de Venezuela

**Anexo 3. Figura 6 Nomograma de Izzard para canales de sección triangular**



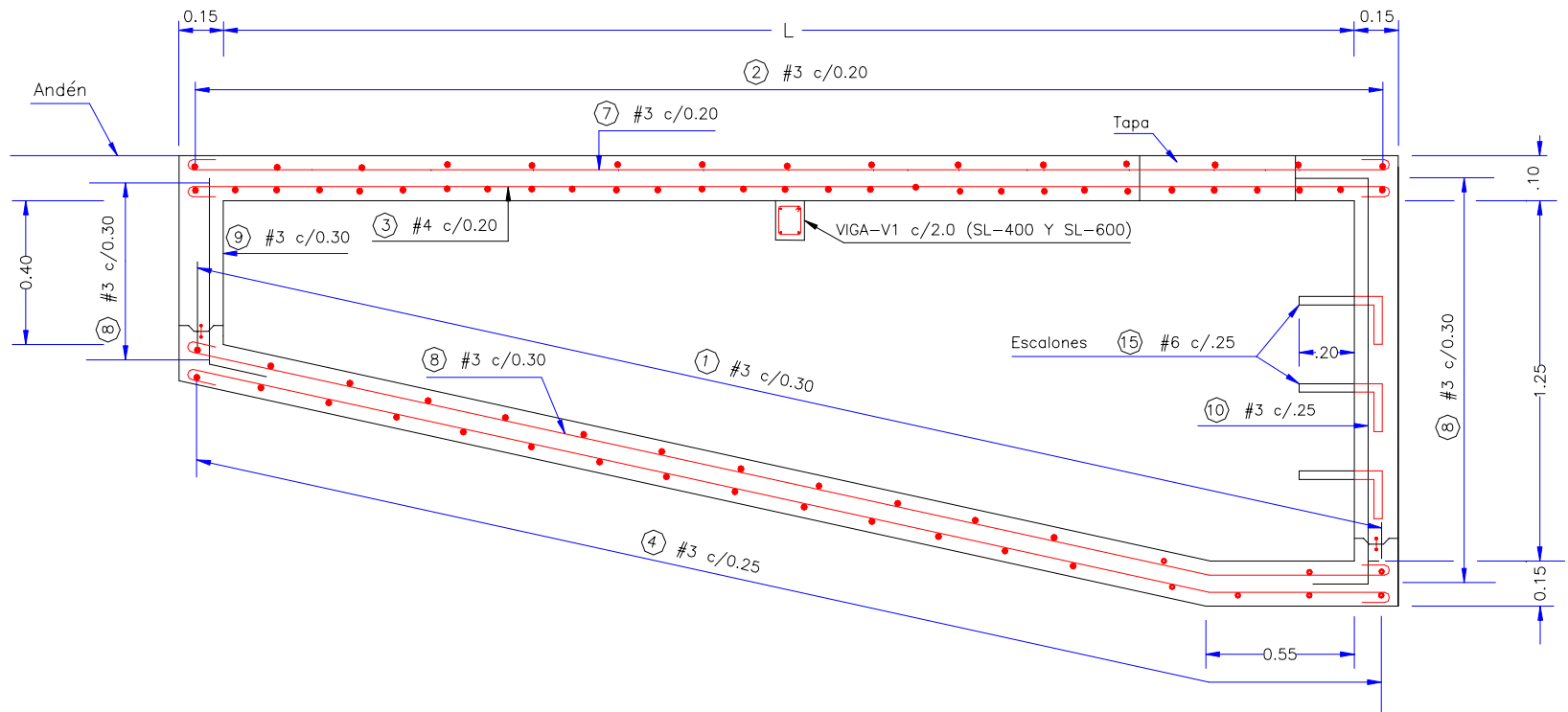
Tomado de Metcalf-Eddy, Tratamiento y Depuración de Aguas Residuales, Editorial Labor, (Barcelona), 1981

**Anexo 3. Figura 7 Plano de Planta de Sumideros (SL-200, SL-400,SL-600)**



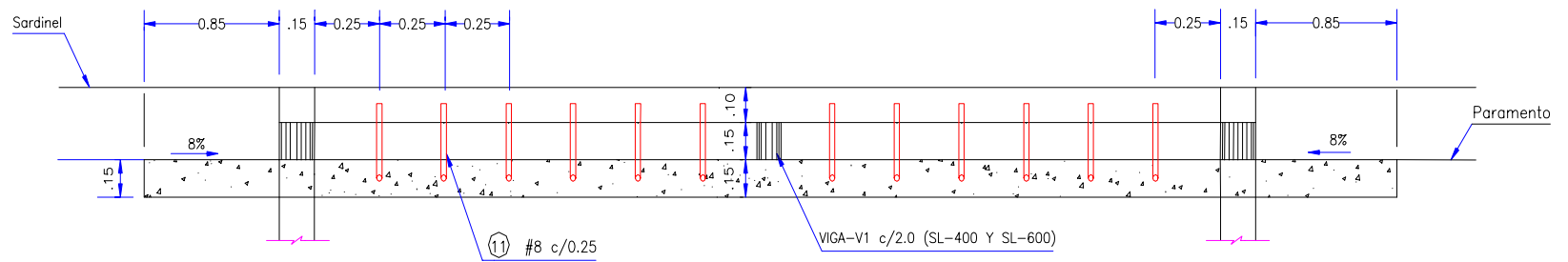
Tomado de HIDROESTUDIOS LTDA, Ingenieros Consultores, Informe N<sup>o</sup>. 032-GA-91, Alcantarillado maestro diseño de sumideros, 1979

**Anexo 3. Figura 8 Corte A-A Sumideros (SL-200,SL-400,SL-600)**



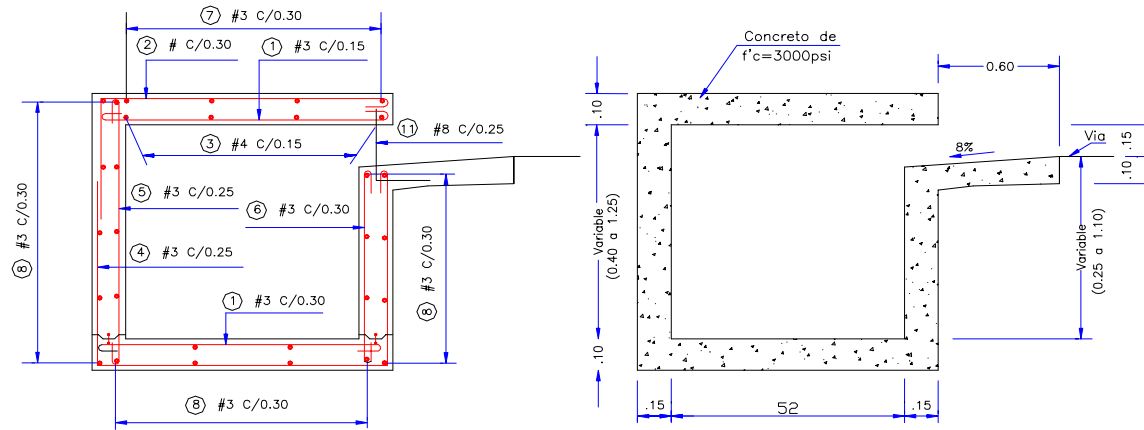
Tomado de HIDROESTUDIOS LTDA, Ingenieros Consultores, Informe N<sup>o</sup>. 032-GA-91, Alcantarillado maestro diseño de sumideros, 1979

**Anexo 3. Figura 9 Corte B-B Sumideros (SL-200, SL-400, SL 600)**



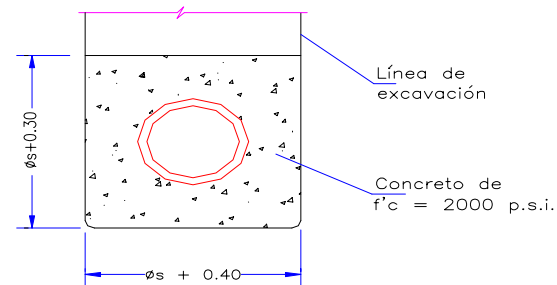
Tomado de HIDROESTUDIOS LTDA, Ingenieros Consultores, Informe N<sup>o</sup>. 032-GA-91, Alcantarillado maestro diseño de sumideros, 1979

**Anexo 3. Figura 10 Corte C-C Sumideros (SL-200, SL-400, SL-600)**



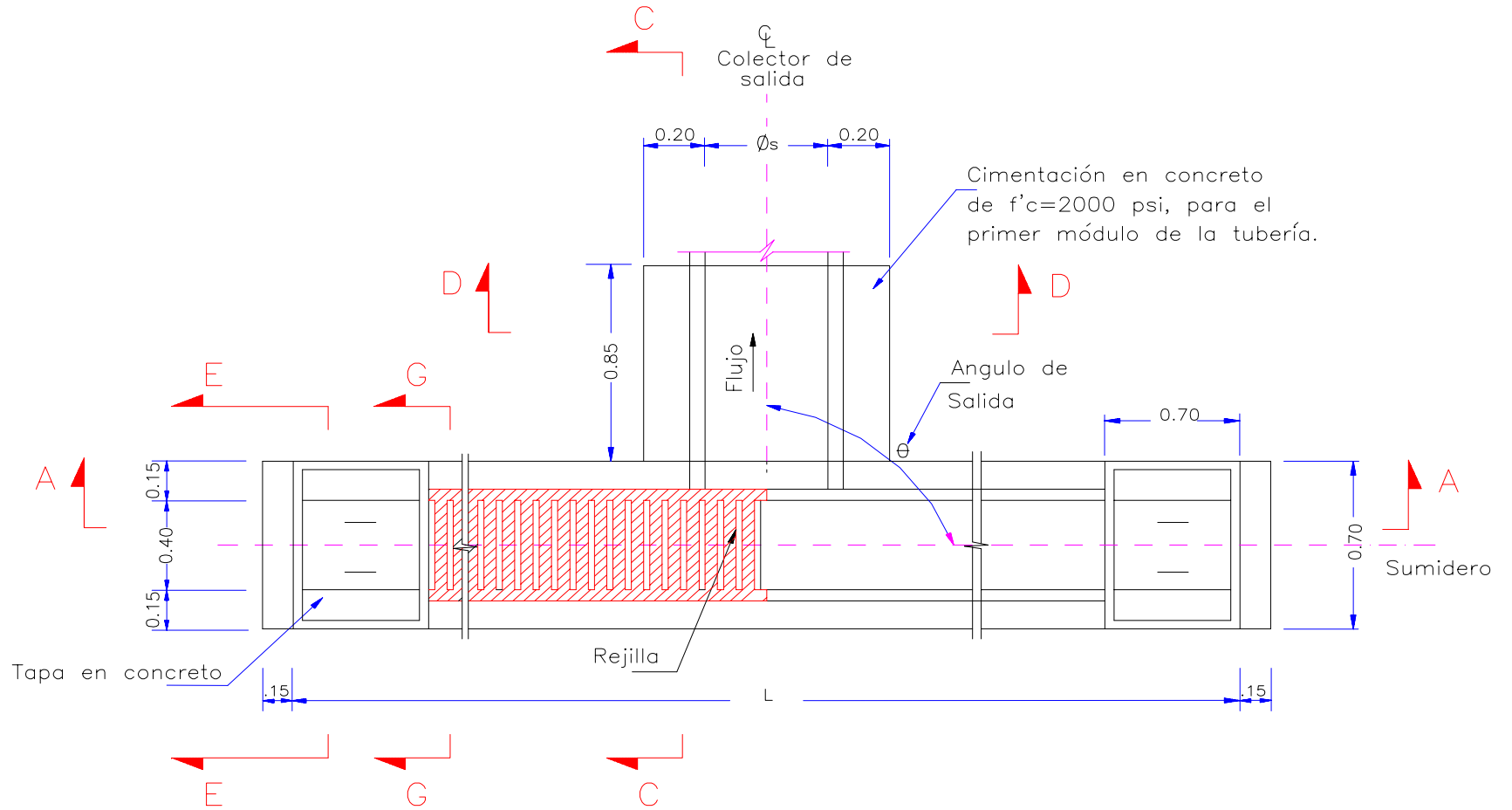
Tomado de HIDROESTUDIOS LTDA, Ingenieros Consultores, Informe N<sub>o</sub>. 032-GA-91, Alcantarillado maestro diseño de sumideros, 1979

**Anexo 3. Figura 11 Corte D-D Sumideros (SL-200, SL-400, SL-600)**



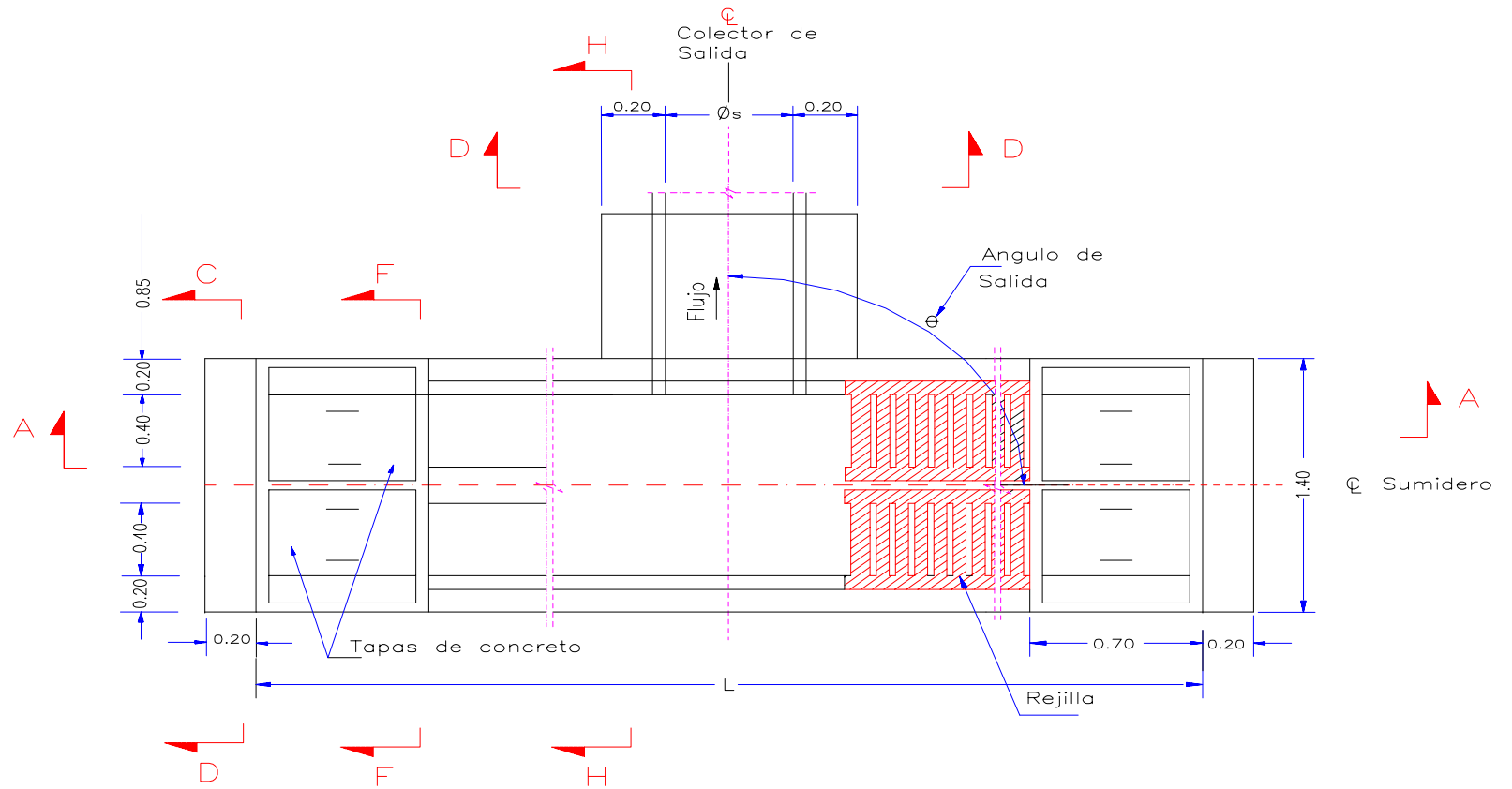
Tomado de HIDROESTUDIOS LTDA, Ingenieros Consultores, Informe N<sub>o</sub>. 032-GA-91, Alcantarillado maestro diseño de sumideros, 1979

Anexo 3. Figura 12 Planta de Sumidero (ST-40)



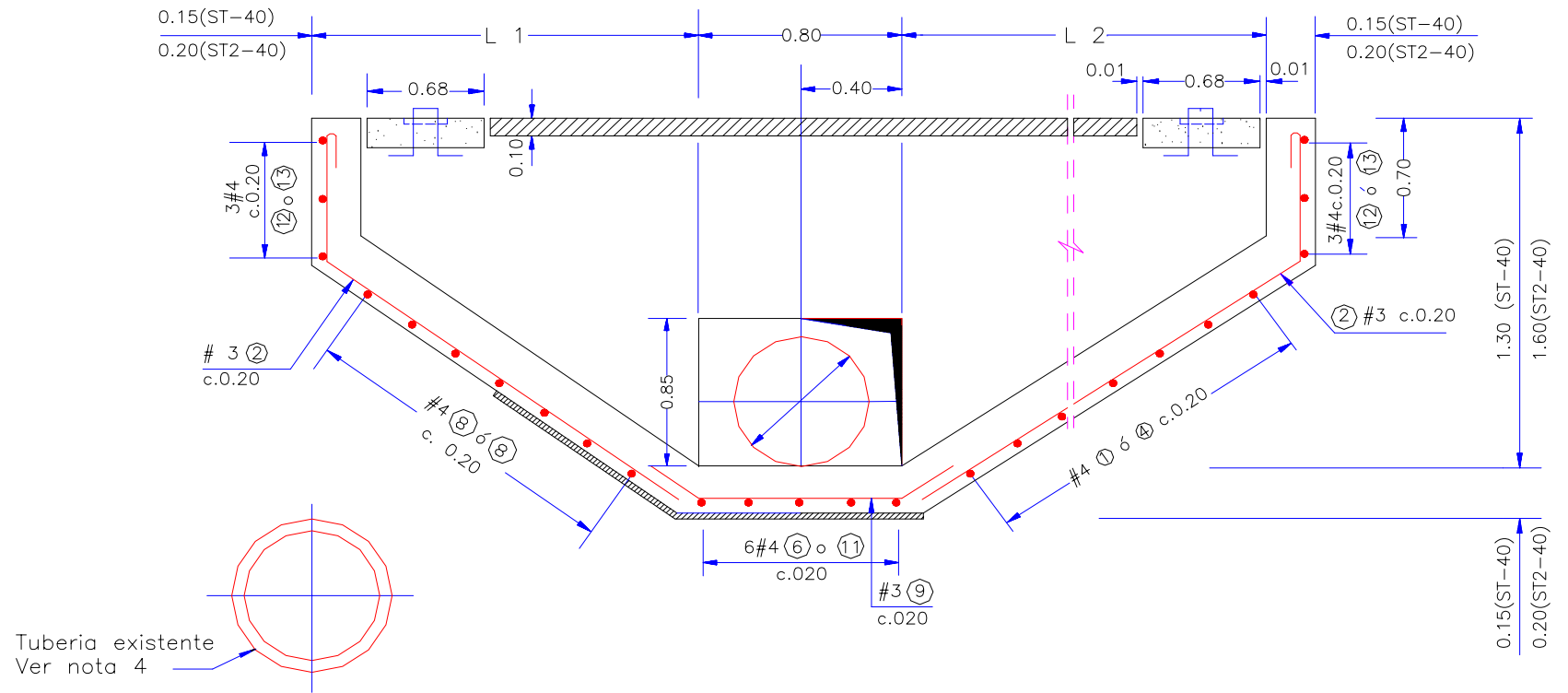
Tomado de HIDROESTUDIOS LTDA, Ingenieros Consultores, Informe N.º. 032-GA-91, Alcantarillado maestro diseño de sumideros, 1979

Anexo 3. Figura 13 Planta de Sumidero (ST2-40)



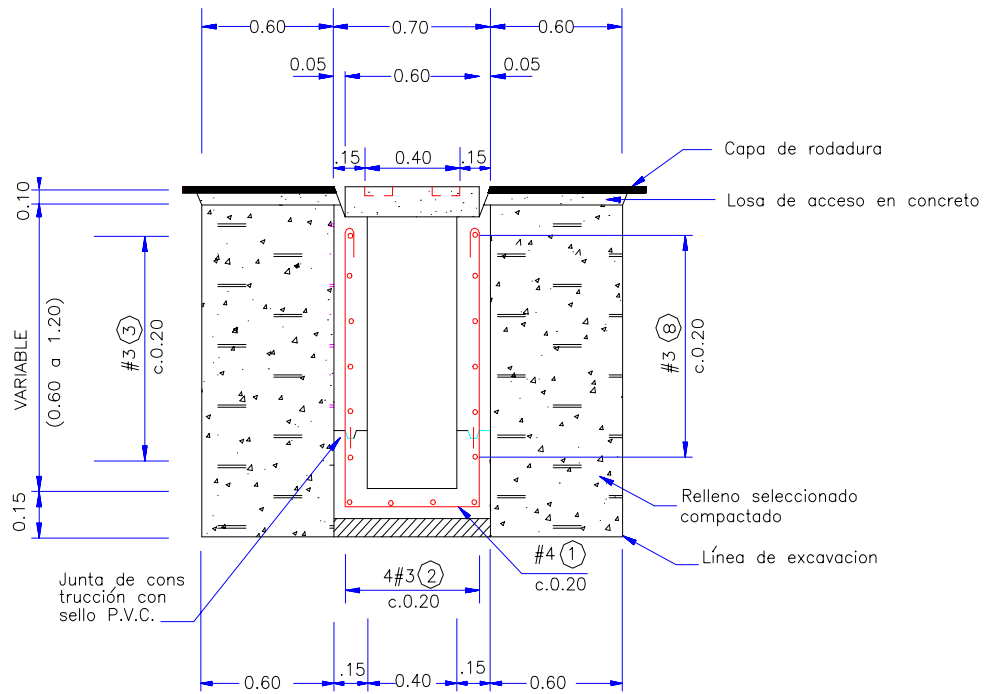
Tomado de HIDROESTUDIOS LTDA, Ingenieros Consultores, Informe N<sup>o</sup>. 032-GA-91, Alcantarillado maestro diseño de sumideros, 1979

**Anexo 3. Figura 14 Corte A-A Sumidero (ST-40, ST2-40)**



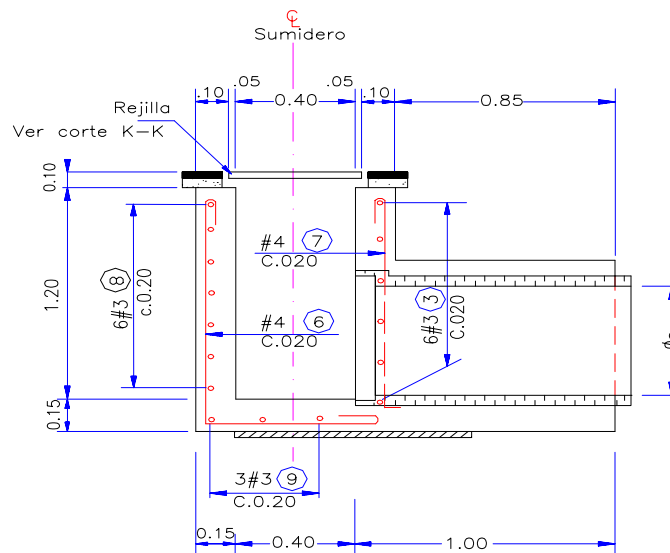
Tomado de HIDROESTUDIOS LTDA, Ingenieros Consultores, Informe N.º. 032-GA-91, Alcantarillado maestro diseño de sumideros, 1979

**Anexo 3. Figura 15 Corte B-B Sumidero (ST-40 y ST2-40)**



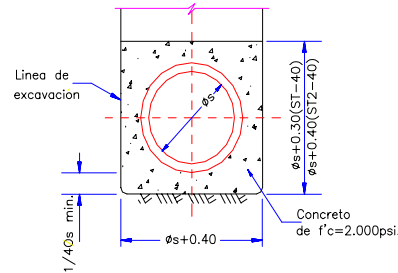
Tomado de HIDROESTUDIOS LTDA, Ingenieros Consultores, Informe No. 032-GA-91, Alcantarillado maestro diseño de sumideros, 1979

**Anexo 3. Figura 16 Corte C-C Sumidero (ST-40 y ST2-40)**

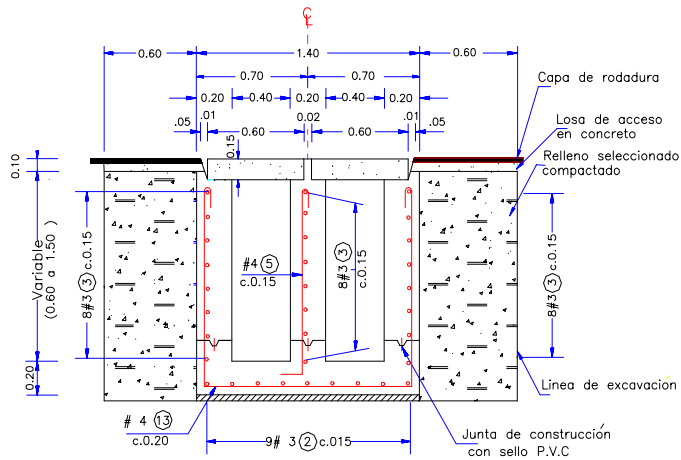


Tomado de HIDROESTUDIOS LTDA, Ingenieros Consultores, Informe No. 032-GA-91, Alcantarillado maestro diseño de sumideros, 1979

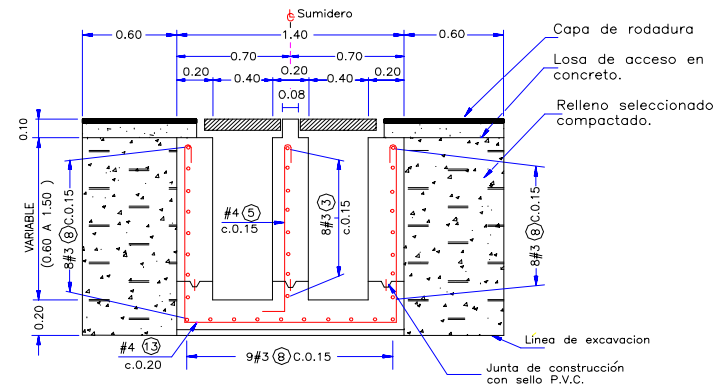
**Anexo 3. Figura 17 Corte D-D Sumidero (ST-40, ST2-40)**



**Anexo 3. Figura 18 Corte E-E Sumidero (ST-40, ST2-40)**

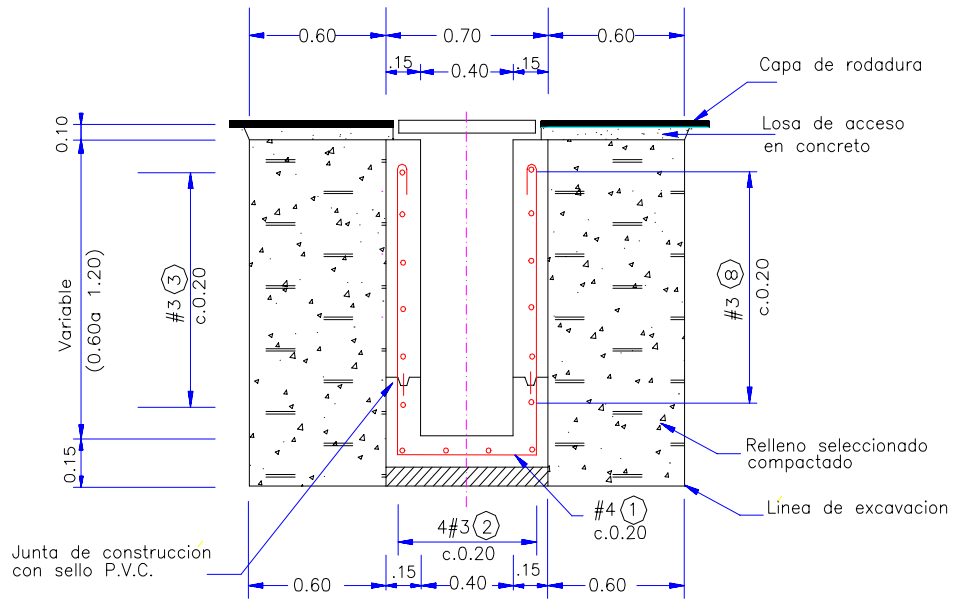


**Anexo 3. Figura 19 Corte F-F Sumidero (ST-40, ST2-40)**



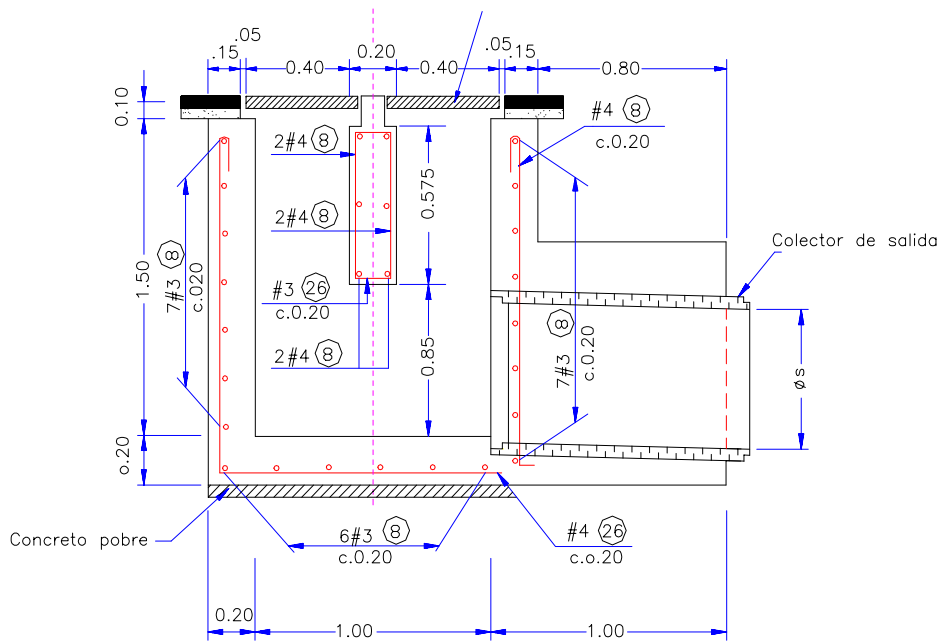
Tomado de HIDROESTUDIOS LTDA, Ingenieros Consultores, Informe No. 032-GA-91, Alcantarillado maestro diseño de sumideros, 1979

**Anexo 3. Figura 20 Corte G-G Sumidero (ST-40 y ST2-40)**



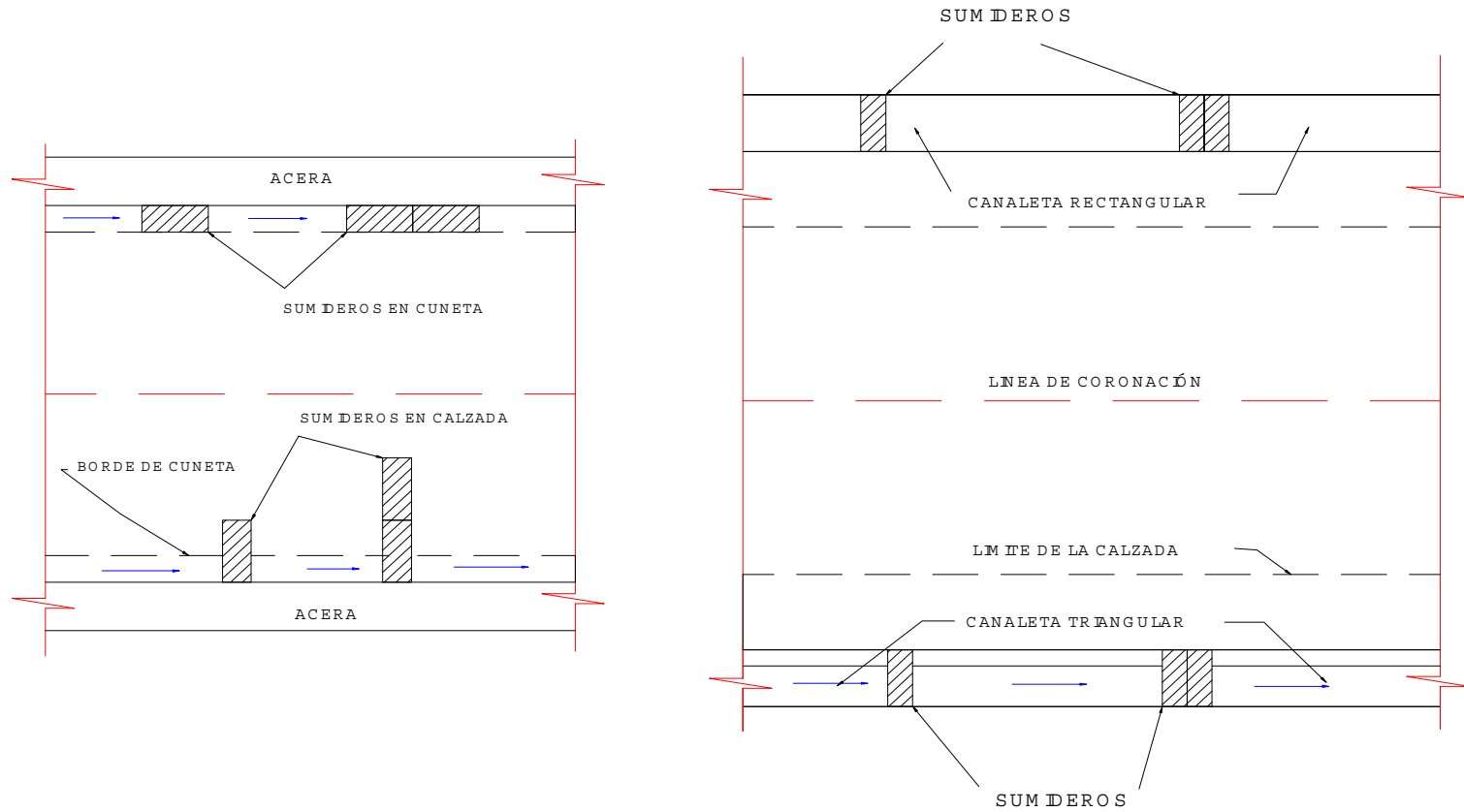
Tomado de HIDROESTUDIOS LTDA, Ingenieros Consultores, Informe N<sup>o</sup>. 032-GA-91, Alcantarillado maestro diseño de sumideros, 1979

**Anexo 3. Figura 21 Corte H-H Sumidero (ST-40 y ST2-40)**



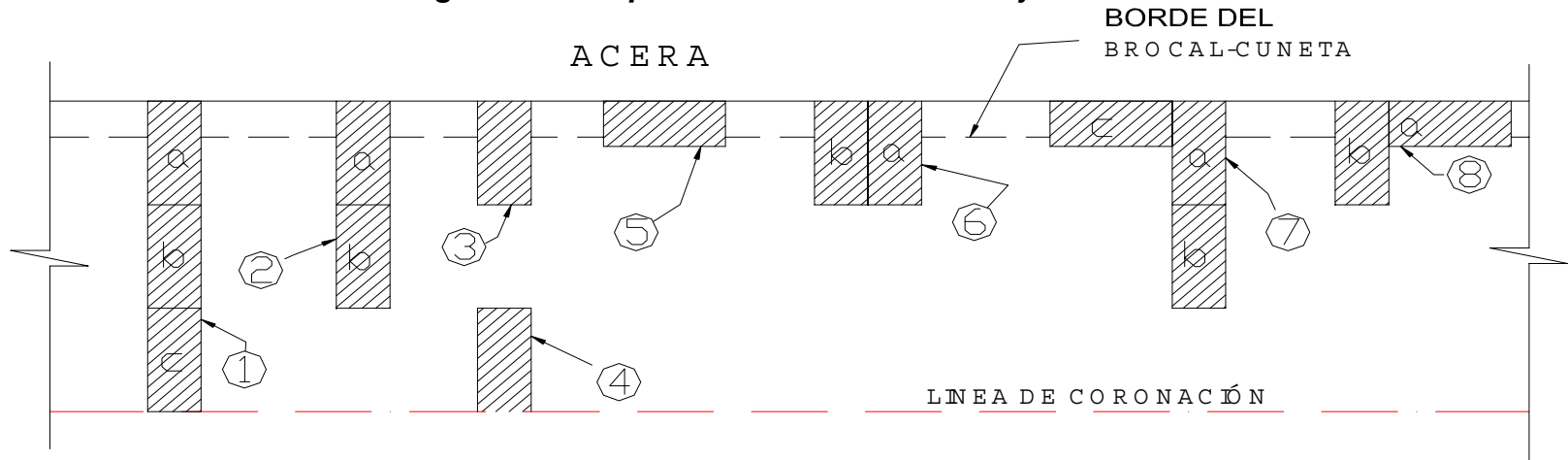
Tomado de HIDROESTUDIOS LTDA, Ingenieros Consultores, Informe N<sup>o</sup>. 032-GA-91, Alcantarillado maestro diseño de sumideros, 1979

**Anexo 3. Figura 22 Ubicación de sumideros de rejillas**



Tomado de BOLINAGA J.J, Drenaje Urbano, Instituto Nacional de Obras Sanitarias de Venezuela.

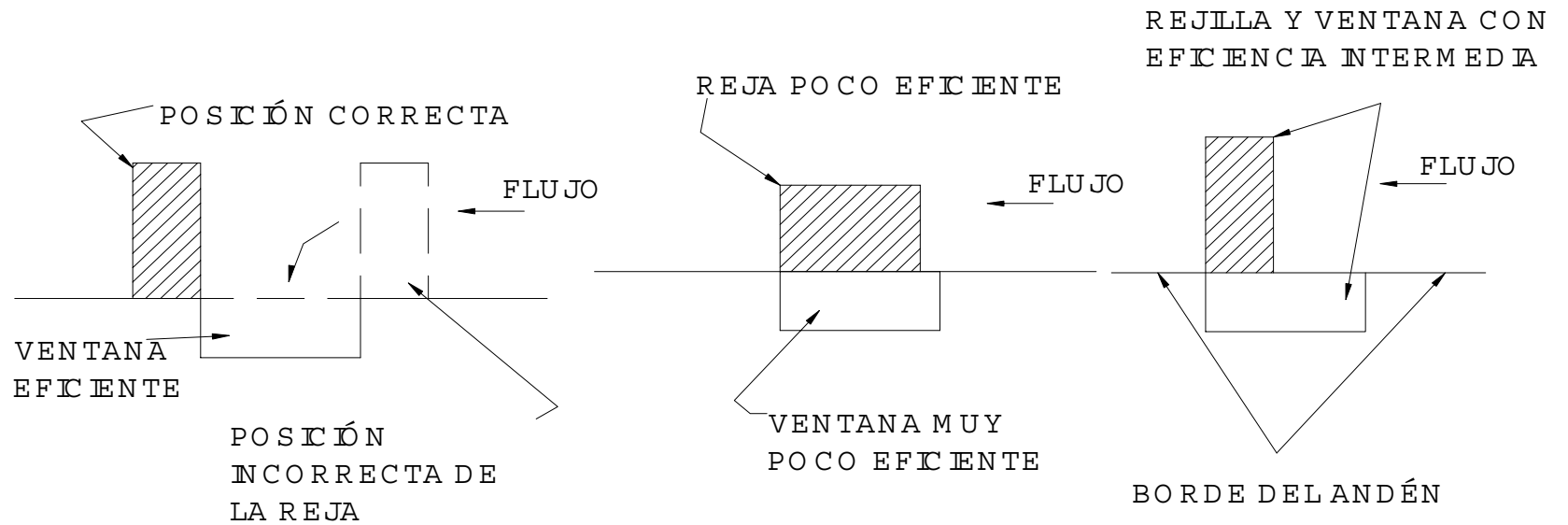
**Anexo 3. Figura 23 Disposición Relativa de las rejillas en calzadas**



- ① DESEABLE CUANDO LA PENDIENTE DE LA CALZADA ES CASINULA Y NO HAY MOLESTIAS AL TRÁNSITO DE VEHICULOS, SI EXISTESE INCONVENIENTE, UTILIZAR VARIAS DISPOSICIONES DE REJILLAS ( 3 ) O ( 6 ) SEPARADAS SUFICIENTEMENTE ENTRE SI
- ② DESEABLE CUANDO LA PENDIENTE TRANSVERSALES MODERADA Y LA REJA "C" DE LA DISPOSICIÓN ( 1 ) CAPTA MENOS DE 20 % DEL TOTAL Y NO HAY MOLESTIAS AL TRÁNSITO DE VEHICULOS, SI EXISTESE INCONVENIENTES PROCEDER IGUALQUE EN LA DISPOSICIÓN ( 1 )
- ③ DESEABLE CUANDO LA PENDIENTE TRANSVERSALES MENOR DEL 1 % O EN LA DISPOSICIÓN ( 2 ) , LA REJA "B" NO CUMPLE EL REQUISITO DE CAPTAR EL 30 %
- ④ INDESEABLE EN TODOS LOS CASOS
- ⑤ DESEABLE CUANDO LA DISPOSICIÓN ( 3 ) NO PUEDE ADOPTARSE POR MOLESTAR EL TRÁNSITO DE LOS VEHICULOS .
- ⑥ DESEABLE CUANDO LA DISPOSICIÓN ( 3 ) ES INSUFICIENTE PARA INTERCEPTAR EL GASTO REQUERIDO , LA REJA "b" DE ESTA DISPOSICIÓN ES EN ESTE CASO SALVO EN PENDIENTES TRANSVERSALES PEQUEÑAS MÁS EFICIENTE QUE LAS "b" DE LAS DISPOSICIONES ( 1 ) Y ( 2 )
- ⑦ INDESEABLE . LA REJA "b" Y "c" ES INEFICIENTE .
- ⑧ INDESEABLE LA REJA "b" ES INEFICIENTE

Tomado de BOLINAGA J.J, Drenaje Urbano, Instituto Nacional de Obras Sanitarias de Venezuela

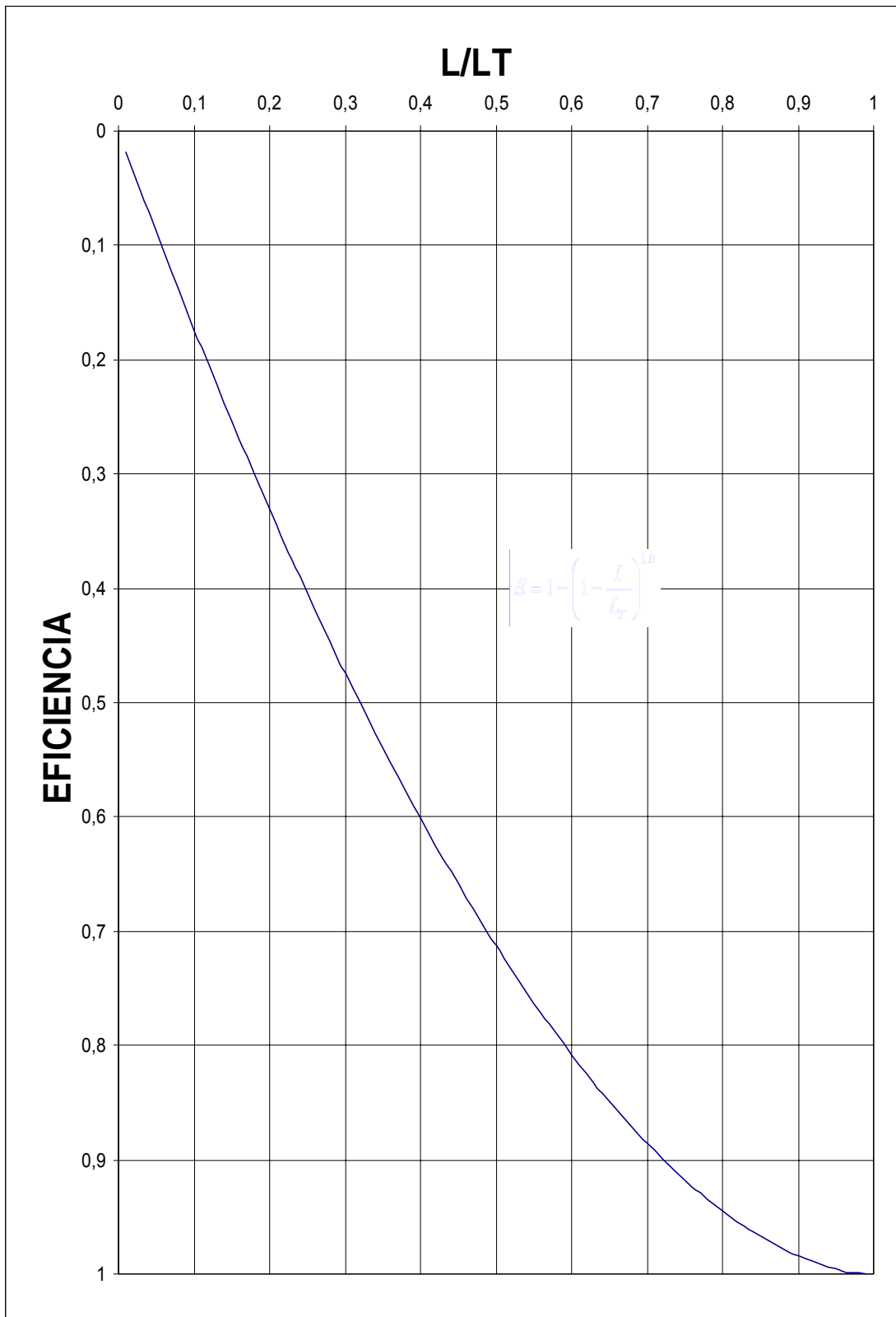
**Anexo 3. Figura 24 Disposiciones Típicas de las rejillas en los sumideros mixtos**



Tomado de BOLINAGA J.J, Drenaje Urbano, Instituto Nacional de Obras Sanitarias de Venezuela.

***ANEXO 4***

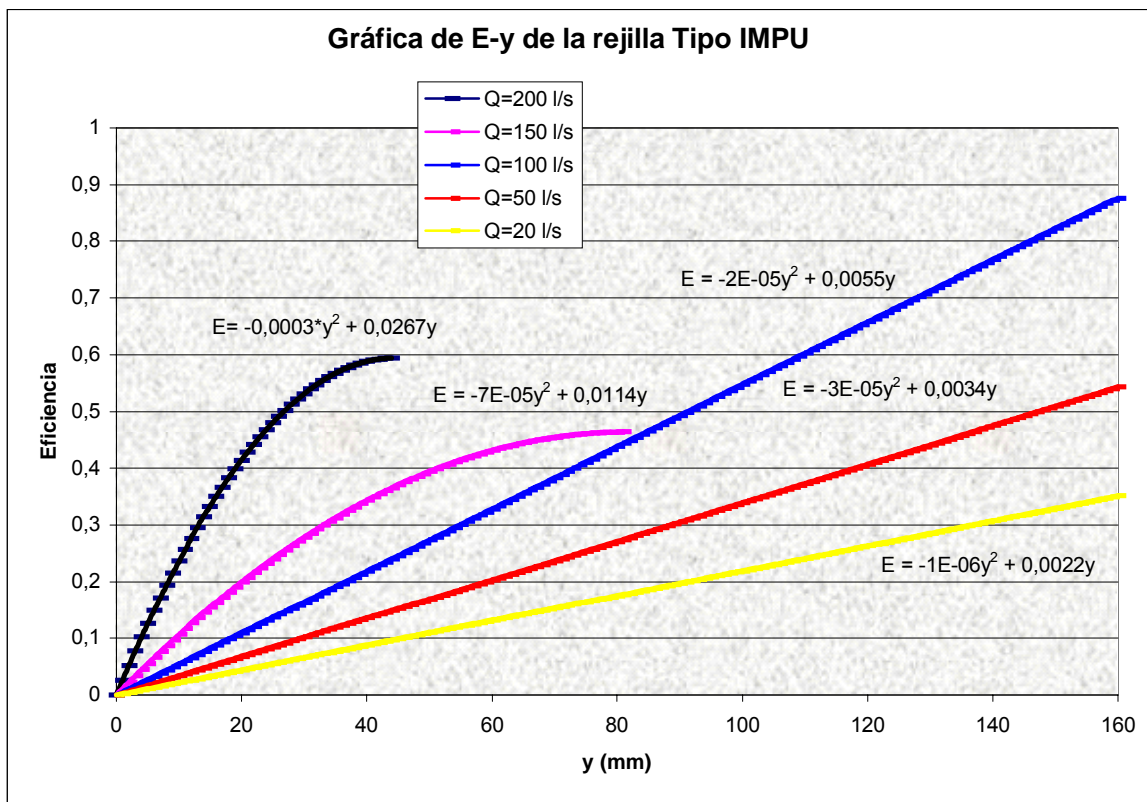
Anexo 4. Figura 1 Eficiencia de captación de un sumidero lateral



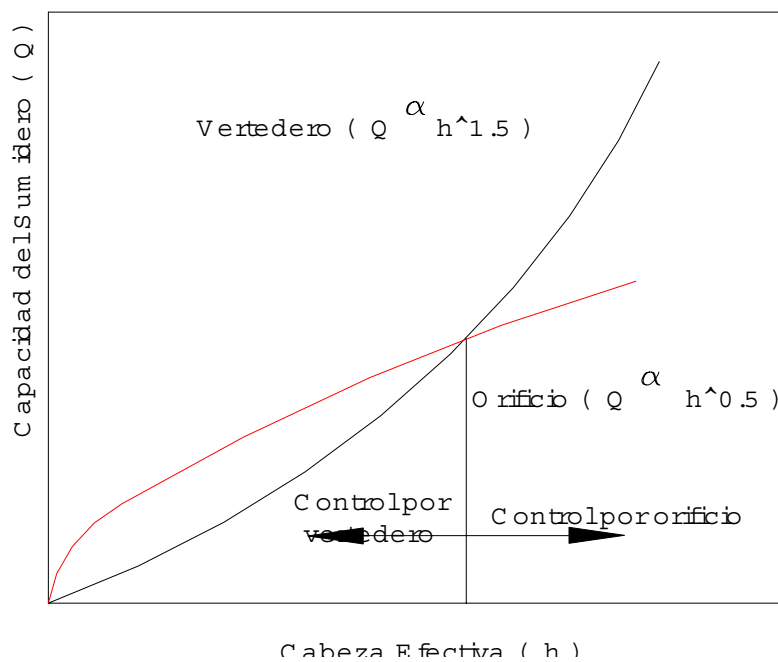
**Anexo 4. Figura 2 Vista de la plataforma de los ensayos**



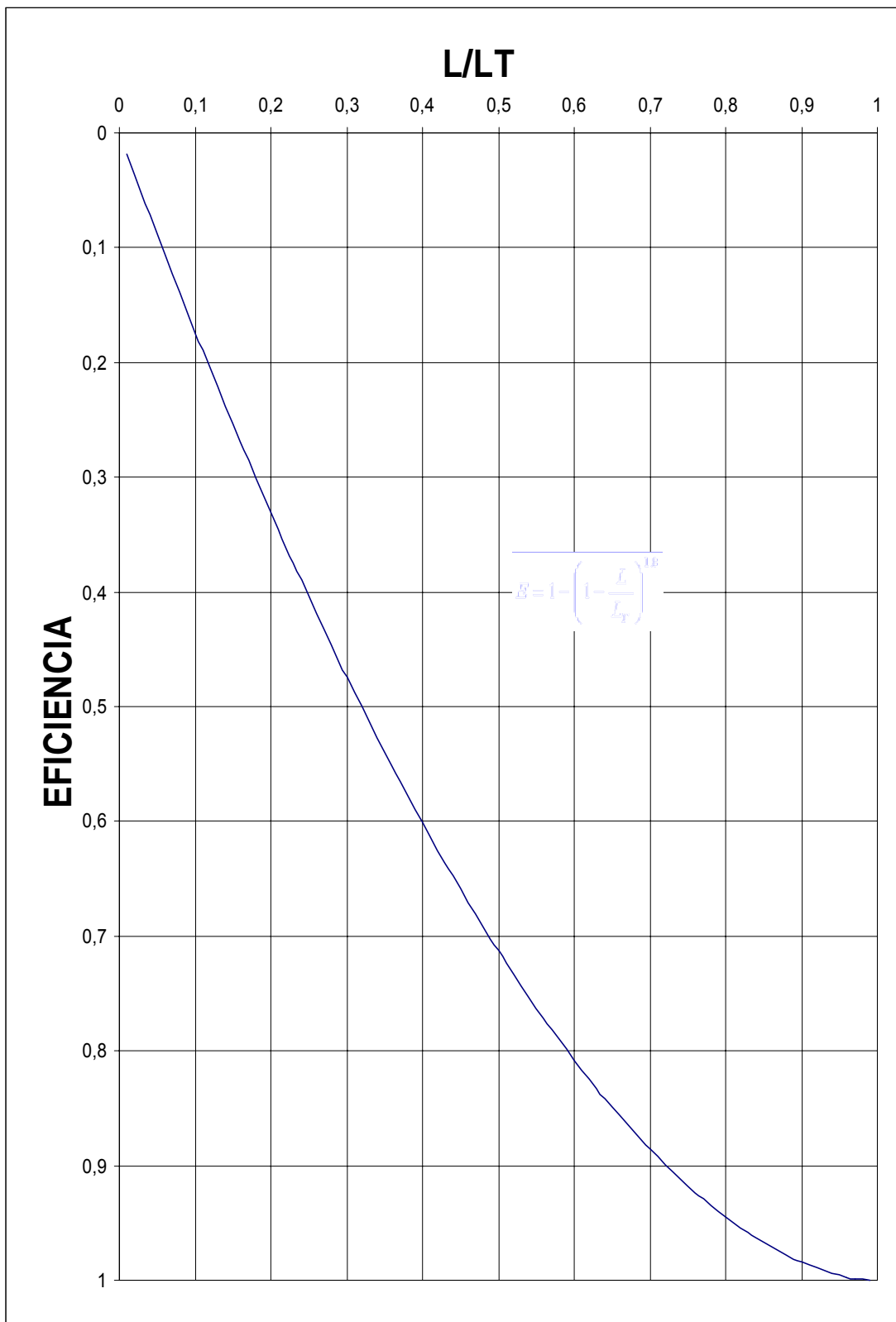
**Anexo 4. Figura 3 Gráfico de “E-y” para la rejilla Tipo IMPU**



**Anexo 4. Figura 4 Relación entre la cabeza efectiva y la capacidad de sumidero, para flujo de vertedero y orificio**



Anexo 4. Figura 5 Eficiencia de Captación en un sumidero ranurado



**Anexo 4. Tabla 1 Relaciones entre los tipos de rejilla y la inclinación horizontal**

Tipo de Rejilla	Inclinación ( $\theta$ ) (Grados)	Coefficiente (C)
Barras paralelas	11.3 (5H:1V)	0.435
	0	0.497
Lamina perforada	11.3 (5H:1V)	0.750
	0	0.800

**Anexo 4. Tabla 2 Dimensiones de las rejillas ensayadas**

	Tipo	Longitud	Anchura	Área total	Área de huecos
Figura 4	R-121	78 cm	36.4 cm	2839 cm <sup>2</sup>	1214 cm <sup>2</sup>
Figura 5	IMPU	78 cm	34.1 cm	2659 cm <sup>2</sup>	876 cm <sup>2</sup>
Figura 6	Ebro	77.6 cm	34.5 cm	2677 cm <sup>2</sup>	1050 cm <sup>2</sup>
Figura 7	E-25	64 cm	30 cm	1920 cm <sup>2</sup>	693 cm <sup>2</sup>
Figura 8	Delta-50	56.5 cm	29.5 cm	1667 cm <sup>2</sup>	763 cm <sup>2</sup>
Figura 9	Interceptora	97.5 cm	49.5 cm	4825 cm <sup>2</sup>	1400 cm <sup>2</sup>

**Anexo 4. Tabla 3 Parámetros a, b y c para una forma hiperbólica del caudal circulante (Eficiencia lineal)**

Reja	a	b	c
R-121	-12.6225	4.02e-4	0.7548
IMPU	-6.7330	1.2e-4	0.6639
E-25	-5.5925	3.39e-4	0.6519
EBRO	-14.7580	9.33e-5	0.7433
Interceptora	-17.7836	3e-3	0.8425
Delta	-12.1849	4.22e-4	0.6848

**Anexo 4. Tabla 4 Valores de los parámetros a, b, c, a', b', c' para una forma hiperbólica del caudal circulante (Eficiencia cuadrática)**

Tipo (Rejilla)	a	b	c	a'	b'	c'
R-121	2.5	-0.000015	-0.0743	-9.6	0.00022	0.91
IMPU	9	-0.00002	0.0589	-4.21	-0.00093	0.818
E-25	9	-0.00002	0.0589	-1.36	-0.0005	0.791
EBRO	7	-0.000015	0.0622	-5.5	0.000075	0.843
Interceptora	9.2	-0.000027	0.0718	-8.3	0.000061	0.956
(2) Inter. paralelo	-8	-0.00008	0.131	-25.7	-0.0215	1.51
(2) Inter. serie	-10.3	-0.00021	0.1563	-13.1	-0.00207	1.255

**Anexo 4. Tabla 5 Valores de los coeficientes A y B para una Ecuación de ajuste Potencial**

TIPO PARAM.	R-121	IMPU	E-25	EBRO	INTERCEPTORA	(2) INTER. PARALELO	(2) INTER. SERIE
A	0.47	0.4	0.39	0.44	0.52	0.73	0.67
B	0.77	0.82	0.77	0.81	0.74	0.49	0.74

**Anexo 4. Tabla 6 Ranking con respecto a la seguridad del peatón y bicicletas (FHWA)**

Ranking	Tipo de rejilla
1	P-50X100
2	Retícula "Honeycomb"
3	P-30
4	Barras paralelas 45°-85
5	Barras paralelas 45°-60
6	Curvada en forma de veleta
7	Barras paralelas 30°-85

***ANEXO 5***

**Anexo 5. Tabla 1 Valores soporte de las curvas de diseño de sumideros laterales (captación en ruta) pendiente transversal 1%**

Q	LT	LT	LT	LT	LT	LT	LT	LT	LT	LT
(lps)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
	Sy 1%	Sy 2%	Sy 3%	Sy 4%	Sy 5%	Sy 6%	Sy 7%	Sy 8%	Sy 9%	Sy 10%
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1,2189	1,4777	1,6575	1,7997	1,9192	2,0232	2,1158	2,19977	2,2768	2,34807
10	1,7112	2,0501	2,2855	2,4718	2,6284	2,7648	2,8864	2,99666	3,0978	3,19155
15	2,1127	2,5111	2,787	3,0051	3,1884	3,3481	3,4904	3,61947	3,7379	3,84764
20	2,4677	2,9161	3,2257	3,4701	3,6753	3,854	4,0132	4,15753	4,29	4,41267
25	2,7924	3,2856	3,6249	3,8923	4,1166	4,3118	4,4856	4,64316	4,7877	4,92155
30	3,0952	3,6297	3,9961	4,2843	4,5259	4,7359	4,9229	5,09221	5,2475	5,39136
35	3,3808	3,9541	4,3458	4,6534	4,9109	5,1346	5,3336	5,51378	5,679	5,83193
40	3,6525	4,2627	4,6784	5,0042	5,2766	5,5131	5,7234	5,91367	6,0881	6,24947
45	3,9126	4,5582	4,9967	5,3399	5,6265	5,8751	6,096	6,2958	6,4789	6,64823
50	4,1626	4,8425	5,303	5,6628	5,9629	6,2231	6,4541	6,66301	6,8543	7,03124
55	4,4039	5,117	5,5988	5,9746	6,2878	6,5591	6,7999	7,01743	7,2166	7,40077
60	4,6375	5,383	5,8853	6,2767	6,6026	6,8846	7,1347	7,36068	7,5674	7,75856
65	4,8642	5,6412	6,1637	6,5702	6,9084	7,2007	7,46	7,69406	7,9081	8,10599
70	5,0847	5,8926	6,4347	6,8559	7,2061	7,5086	7,7767	8,0186	8,2398	8,44417
75	5,2994	6,1376	6,699	7,1347	7,4965	7,8089	8,0856	8,33518	8,5633	8,77401
80	5,509	6,3769	6,9571	7,407	7,7802	8,1023	8,3874	8,6445	8,8794	9,09628
85	5,7137	6,6109	7,2097	7,6734	8,0578	8,3894	8,6828	8,94718	9,1887	9,41161
90	5,914	6,84	7,457	7,9343	8,3298	8,6706	8,9721	9,24373	9,4917	9,72057
95	6,1102	7,0645	7,6995	8,1902	8,5965	8,9465	9,256	9,53461	9,789	10,0236
100	6,3025	7,2847	7,9374	8,4414	8,8584	9,2174	9,5346	9,82022	10,081	10,3212
105	6,4912	7,501	8,1712	8,6882	9,1157	9,4835	9,8085	10,1009	10,368	10,6136
110	6,6765	7,7135	8,4009	8,9308	9,3686	9,7452	10,078	10,3769	10,65	10,9012
115	6,8586	7,9225	8,6269	9,1695	9,6176	10,003	10,343	10,6486	10,927	11,1844
120	7,0376	8,1281	8,8494	9,4045	9,8627	10,256	10,604	10,9162	11,201	11,4632
125	7,2138	8,3306	9,0685	9,636	10,104	10,506	10,861	11,1799	11,47	11,738
130	7,3872	8,53	9,2844	9,8642	10,342	10,753	11,115	11,4399	11,736	12,009
135	7,5581	8,7266	9,4972	10,089	10,577	10,996	11,365	11,6965	11,998	12,2764
140	7,7265	8,9205	9,7072	10,311	10,809	11,236	11,612	11,9496	12,257	12,5403
145	7,8925	9,1117	9,9144	10,53	11,038	11,472	11,856	12,1996	12,513	12,801
150	8,0562	9,3005	10,119	10,747	11,263	11,706	12,096	12,4466	12,765	13,0585
155	8,2178	9,4868	10,321	10,961	11,487	11,937	12,334	12,6906	13,015	13,3129
160	8,3774	9,6709	10,521	11,172	11,707	12,166	12,57	12,9318	13,261	13,5645
165	8,5349	9,8527	10,718	11,381	11,925	12,392	12,802	13,1704	13,505	13,8133
170	8,6905	10,032	10,913	11,587	12,141	12,615	13,032	13,4063	13,747	14,0594
175	8,8443	10,21	11,106	11,791	12,354	12,836	13,26	13,6398	13,985	14,303
180	8,9963	10,386	11,297	11,993	12,565	13,055	13,485	13,8709	14,222	14,544
185	9,1465	10,56	11,485	12,193	12,774	13,271	13,708	14,0997	14,456	14,7827
190	9,2952	10,732	11,672	12,391	12,981	13,485	13,929	14,3262	14,687	15,0191
195	9,4422	10,902	11,857	12,587	13,186	13,698	14,148	14,5506	14,917	15,2533
200	9,5877	11,07	12,04	12,781	13,388	13,908	14,364	14,7729	15,144	15,4853
205	9,7317	11,237	12,222	12,973	13,589	14,116	14,579	14,9931	15,37	15,7152
210	9,8742	11,403	12,401	13,164	13,789	14,323	14,792	15,2114	15,593	15,9431

**Anexo 5. Tabla 1 Valores soporte de las curvas de diseño de sumideros laterales (captación en ruta) pendiente transversal 1%**

Q (lps)	LT (m)	LT (m)	LT (m)	LT (m)	LT (m)	LT (m)	LT (m)	LT (m)	LT (m)	LT (m)
	Sy 1%	Sy 2%	Sy 3%	Sy 4%	Sy 5%	Sy 6%	Sy 7%	Sy 8%	Sy 9%	Sy 10%
215	10,015	11,566	12,579	13,352	13,986	14,527	15,002	15,4279	15,814	16,169
220	10,155	11,728	12,756	13,539	14,181	14,73	15,211	15,6424	16,034	16,393
225	10,294	11,889	12,931	13,725	14,375	14,931	15,419	15,8552	16,251	16,6152
230	10,431	12,048	13,104	13,909	14,568	15,13	15,624	16,0662	16,467	16,8356
235	10,567	12,206	13,276	14,091	14,758	15,328	15,828	16,2755	16,682	17,0542
240	10,701	12,363	13,446	14,272	14,948	15,524	16,03	16,4832	16,894	17,2711
245	10,835	12,518	13,615	14,451	15,135	15,719	16,231	16,6893	17,105	17,4864
250	10,967	12,672	13,783	14,629	15,321	15,912	16,43	16,8938	17,314	17,7
255	11,099	12,825	13,949	14,806	15,506	16,104	16,628	17,0967	17,522	17,9121
260	11,229	12,976	14,114	14,981	15,69	16,294	16,824	17,2982	17,728	18,1226
265	11,358	13,126	14,278	15,155	15,872	16,483	17,019	17,4983	17,933	18,3316
270	11,486	13,275	14,441	15,327	16,052	16,67	17,212	17,6969	18,136	18,5392
275	11,613	13,423	14,602	15,499	16,232	16,857	17,404	17,8941	18,338	18,7453
280	11,739	13,57	14,762	15,669	16,41	17,042	17,595	18,09	18,539	18,9501
285	11,864	13,716	14,921	15,838	16,587	17,225	17,785	18,2846	18,738	19,1534
290	11,988	13,861	15,079	16,005	16,762	17,407	17,973	18,4778	18,936	19,3555
295	12,112	14,005	15,236	16,172	16,937	17,589	18,16	18,6698	19,132	19,5562
300	12,234	14,147	15,392	16,337	17,11	17,769	18,345	18,8606	19,328	19,7557
305	12,355	14,289	15,546	16,502	17,282	17,947	18,53	19,0501	19,522	19,9539
310	12,476	14,43	15,7	16,665	17,453	18,125	18,713	19,2385	19,715	20,1509
315	12,596	14,57	15,853	16,827	17,623	18,302	18,895	19,4257	19,906	20,3466
320	12,715	14,709	16,004	16,989	17,792	18,477	19,076	19,6117	20,097	20,5413
325	12,833	14,847	16,155	17,149	17,96	18,651	19,256	19,7967	20,286	20,7347
330	12,95	14,984	16,305	17,308	18,127	18,825	19,435	19,9805	20,474	20,927
335	13,067	15,12	16,454	17,466	18,293	18,997	19,613	20,1633	20,662	21,1182
340	13,183	15,255	16,601	17,624	18,458	19,168	19,79	20,345	20,848	21,3084
345	13,298	15,39	16,748	17,78	18,622	19,339	19,966	20,5257	21,033	21,4974
350	13,412	15,523	16,895	17,935	18,785	19,508	20,141	20,7054	21,217	21,6854
355	13,526	15,656	17,04	18,09	18,947	19,676	20,314	20,884	21,4	21,8724
360	13,638	15,788	17,184	18,244	19,108	19,844	20,487	21,0617	21,582	22,0584
365	13,751	15,92	17,328	18,396	19,268	20,01	20,659	21,2384	21,763	22,2433
370	13,862	16,05	17,471	18,548	19,428	20,176	20,83	21,4142	21,943	22,4273
375	13,973	16,18	17,613	18,7	19,586	20,34	21	21,5891	22,122	22,6104
380	14,083	16,309	17,754	18,85	19,744	20,504	21,169	21,763	22,3	22,7925
385	14,193	16,438	17,894	18,999	19,9	20,667	21,338	21,9361	22,478	22,9736
390	14,302	16,565	18,034	19,148	20,056	20,829	21,505	22,1082	22,654	23,1539
395	14,41	16,692	18,173	19,296	20,212	20,991	21,672	22,2795	22,83	23,3332
400	14,518	16,818	18,311	19,443	20,366	21,151	21,838	22,4499	23,004	23,5117
405	14,625	16,944	18,449	19,589	20,52	21,311	22,002	22,6195	23,178	23,6893
410	14,731	17,069	18,585	19,735	20,672	21,47	22,167	22,7883	23,351	23,866
415	14,837	17,193	18,721	19,88	20,824	21,628	22,33	22,9562	23,523	24,0419
420	14,943	17,317	18,857	20,024	20,976	21,785	22,492	23,1234	23,694	24,217

**Anexo 5. Tabla 2 Valores soporte de las curvas de diseño de sumideros laterales (captación en ruta) pendiente transversal 2%**

Q	LT	LT	LT	LT	LT	LT	LT	LT	LT	LT
(lps)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
	Sy 1%	Sy 2%	Sy 3%	Sy 4%	Sy 5%	Sy 6%	Sy 7%	Sy 8%	Sy 9%	Sy 10%
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1,0721	1,3096	1,4745	1,6048	1,7142	1,8095	1,89425	1,97104	2,04145	2,10663
10	1,4759	1,7871	2,0032	2,1742	2,3179	2,4431	2,55467	2,6558	2,74859	2,83454
15	1,7967	2,1617	2,4148	2,6151	2,7833	2,9299	3,06061	3,17907	3,28779	3,38852
20	2,0754	2,4853	2,769	2,9931	3,1814	3,3454	3,49152	3,624	3,74558	3,85823
25	2,3271	2,7768	3,0871	3,332	3,5377	3,7166	3,87611	4,02065	4,15327	4,27615
30	2,5595	3,0454	3,3799	3,6435	3,8647	4,0571	4,22848	4,38376	4,52621	4,65817
35	2,7769	3,2966	3,6535	3,9343	4,1698	4,3744	4,5567	4,72178	4,87319	5,01341
40	2,9823	3,5339	3,9117	4,2087	4,4574	4,6736	4,86592	5,04009	5,19979	5,34767
45	3,1777	3,7597	4,1574	4,4696	4,7309	4,9578	5,15965	5,34234	5,50982	5,66486
50	3,3647	3,9757	4,3924	4,7192	4,9924	5,2295	5,44039	5,63117	5,806	5,96781
55	3,5442	4,1834	4,6183	4,959	5,2437	5,4906	5,71003	5,90852	6,09036	6,25862
60	3,7174	4,3836	4,8362	5,1904	5,486	5,7423	5,97003	6,1759	6,36446	6,5389
65	3,8847	4,5773	5,0471	5,4142	5,7205	5,9858	6,22151	6,43452	6,62955	6,80992
70	4,0469	4,7652	5,2515	5,6313	5,9479	6,222	6,46542	6,68532	6,8866	7,07271
75	4,2044	4,9477	5,4503	5,8423	6,1689	6,4516	6,70251	6,92909	7,13644	7,32811
80	4,3577	5,1255	5,6438	6,0479	6,3842	6,6753	6,93341	7,1665	7,37974	7,57682
85	4,507	5,2987	5,8326	6,2483	6,5943	6,8934	7,15867	7,3981	7,61708	7,81943
90	4,6528	5,468	6,017	6,4442	6,7995	7,1065	7,37873	7,62436	7,84896	8,05644
95	4,7951	5,6334	6,1973	6,6357	7,0001	7,315	7,59401	7,8457	8,07578	8,28829
100	4,9344	5,7953	6,3738	6,8233	7,1967	7,5192	7,80484	8,06247	8,29793	8,51536
105	5,0708	5,9539	6,5468	7,0071	7,3893	7,7193	8,01153	8,27498	8,51572	8,73797
110	5,2044	6,1095	6,7164	7,1874	7,5784	7,9157	8,21434	8,48352	8,72944	8,95643
115	5,3355	6,2621	6,883	7,3645	7,764	8,1086	8,41352	8,68833	8,93934	9,17098
120	5,4642	6,412	7,0466	7,5385	7,9464	8,2981	8,60927	8,88963	9,14564	9,38187
125	5,5906	6,5594	7,2075	7,7096	8,1257	8,4845	8,8018	9,08762	9,34856	9,5893
130	5,7148	6,7043	7,3658	7,8779	8,3022	8,6679	8,99128	9,28248	9,54828	9,79346
135	5,837	6,8469	7,5215	8,0436	8,476	8,8485	9,17785	9,47436	9,74496	9,99452
140	5,9573	6,9873	7,6749	8,2068	8,6472	9,0265	9,36168	9,66342	9,93876	10,1926
145	6,0757	7,1256	7,8261	8,3677	8,8159	9,2018	9,54288	9,8498	10,1298	10,388
150	6,1923	7,2619	7,9751	8,5263	8,9823	9,3748	9,72159	10,0336	10,3182	10,5806
155	6,3072	7,3963	8,122	8,6827	9,1464	9,5454	9,89791	10,215	10,5042	10,7707
160	6,4206	7,5289	8,267	8,837	9,3084	9,7139	10,0719	10,394	10,6877	10,9583
165	6,5323	7,6597	8,4101	8,9894	9,4683	9,8801	10,2438	10,5708	10,8689	11,1437
170	6,6426	7,7888	8,5514	9,1399	9,6262	10,044	10,4135	10,7454	11,048	11,3267
175	6,7515	7,9164	8,691	9,2885	9,7822	10,207	10,5812	10,918	11,2249	11,5077
180	6,859	8,0423	8,8289	9,4354	9,9364	10,367	10,747	11,0886	11,3998	11,6865
185	6,9651	8,1668	8,9651	9,5806	10,089	10,526	10,9109	11,2572	11,5728	11,8634
190	7,07	8,2898	9,0998	9,7242	10,24	10,682	11,073	11,424	11,7438	12,0383
195	7,1737	8,4114	9,2331	9,8661	10,389	10,838	11,2334	11,5891	11,9131	12,2114
200	7,2761	8,5316	9,3648	10,007	10,536	10,991	11,3921	11,7524	12,0805	12,3827
205	7,3775	8,6506	9,4952	10,146	10,682	11,143	11,5491	11,914	12,2463	12,5522
210	7,4777	8,7683	9,6242	10,283	10,827	11,293	11,7046	12,0741	12,4105	12,7201

**Anexo 5. Tabla 2 Valores soporte de las curvas de diseño de sumideros laterales (captación en ruta) pendiente transversal 2%**

Q	LT	LT	LT	LT	LT	LT	LT	LT	LT	LT
(lps)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
	Sy 1%	Sy 2%	Sy 3%	Sy 4%	Sy 5%	Sy 6%	Sy 7%	Sy 8%	Sy 9%	Sy 10%
215	7,5768	8,8848	9,7519	10,419	10,97	11,442	11,8586	12,2325	12,573	12,8864
220	7,675	9,0001	9,8784	10,554	11,111	11,59	12,0111	12,3895	12,734	13,0511
225	7,7721	9,1143	10,004	10,688	11,252	11,736	12,1621	12,545	12,8935	13,2142
230	7,8682	9,2273	10,128	10,82	11,391	11,88	12,3118	12,6991	13,0516	13,3759
235	7,9634	9,3393	10,25	10,951	11,528	12,024	12,4601	12,8518	13,2082	13,5362
240	8,0576	9,4502	10,372	11,081	11,665	12,166	12,6071	13,0031	13,3635	13,695
245	8,151	9,5601	10,493	11,21	11,8	12,307	12,7529	13,1532	13,5174	13,8525
250	8,2435	9,669	10,612	11,337	11,934	12,446	12,8973	13,3019	13,6701	14,0087
255	8,3351	9,777	10,731	11,464	12,067	12,585	13,0406	13,4495	13,8215	14,1636
260	8,426	9,884	10,848	11,589	12,199	12,722	13,1827	13,5958	13,9716	14,3172
265	8,516	9,9901	10,965	11,714	12,33	12,859	13,3237	13,741	14,1206	14,4696
270	8,6052	10,095	11,08	11,837	12,46	12,994	13,4636	13,885	14,2684	14,6208
275	8,6937	10,2	11,195	11,959	12,589	13,128	13,6023	14,0279	14,415	14,7709
280	8,7815	10,303	11,309	12,081	12,716	13,261	13,74	14,1697	14,5606	14,9198
285	8,8685	10,406	11,422	12,201	12,843	13,393	13,8767	14,3105	14,705	15,0677
290	8,9548	10,508	11,534	12,321	12,969	13,524	14,0123	14,4502	14,8484	15,2144
295	9,0404	10,609	11,645	12,44	13,094	13,654	14,147	14,5889	14,9908	15,3601
300	9,1254	10,709	11,755	12,557	13,218	13,783	14,2807	14,7266	15,1321	15,5048
305	9,2096	10,809	11,864	12,674	13,341	13,911	14,4134	14,8634	15,2725	15,6484
310	9,2933	10,907	11,973	12,791	13,463	14,039	14,5452	14,9992	15,4119	15,7911
315	9,3763	11,005	12,081	12,906	13,584	14,165	14,6761	15,1341	15,5503	15,9328
320	9,4587	11,103	12,188	13,02	13,705	14,291	14,8061	15,268	15,6878	16,0736
325	9,5405	11,2	12,294	13,134	13,824	14,415	14,9353	15,4011	15,8244	16,2134
330	9,6217	11,296	12,4	13,247	13,943	14,539	15,0636	15,5333	15,9602	16,3523
335	9,7023	11,391	12,505	13,359	14,061	14,663	15,1911	15,6646	16,095	16,4904
340	9,7824	11,486	12,609	13,471	14,179	14,785	15,3177	15,7951	16,229	16,6276
345	9,8619	11,58	12,713	13,581	14,295	14,906	15,4436	15,9248	16,3622	16,7639
350	9,9409	11,673	12,816	13,691	14,411	15,027	15,5686	16,0537	16,4945	16,8994
355	10,019	11,766	12,918	13,801	14,526	15,147	15,6929	16,1818	16,626	17,034
360	10,097	11,858	13,019	13,909	14,641	15,266	15,8164	16,3091	16,7568	17,1679
365	10,175	11,95	13,12	14,017	14,754	15,385	15,9392	16,4357	16,8867	17,3009
370	10,252	12,041	13,221	14,125	14,867	15,503	16,0613	16,5615	17,0159	17,4332
375	10,328	12,131	13,32	14,231	14,98	15,62	16,1827	16,6866	17,1444	17,5648
380	10,404	12,221	13,419	14,337	15,091	15,736	16,3033	16,811	17,2721	17,6955
385	10,479	12,311	13,518	14,443	15,202	15,852	16,4233	16,9346	17,3991	17,8256
390	10,554	12,4	13,616	14,548	15,313	15,967	16,5426	17,0576	17,5254	17,9549
395	10,629	12,488	13,713	14,652	15,423	16,082	16,6612	17,1799	17,651	18,0835
400	10,703	12,576	13,81	14,755	15,532	16,196	16,7791	17,3015	17,7759	18,2114
405	10,777	12,663	13,906	14,858	15,64	16,309	16,8965	17,4224	17,9001	18,3386
410	10,85	12,75	14,002	14,961	15,748	16,422	17,0131	17,5427	18,0237	18,4652
415	10,923	12,836	14,097	15,063	15,856	16,534	17,1292	17,6624	18,1466	18,5911
420	10,995	12,922	14,192	15,164	15,962	16,645	17,2446	17,7814	18,2689	18,7163

**Anexo 5. Tabla 3 Valores soporte de las curvas de diseño de sumideros laterales (captación en ruta) pendiente transversal 3%**

Q (lps)	LT (m)	LT (m)	LT (m)	LT (m)	LT (m)	LT (m)	LT (m)	LT (m)	LT (m)	LT (m)	LT (m)
	Sy 1%	Sy 2%	Sy 3%	Sy 4%	Sy 5%	Sy 6%	Sy 7%	Sy 8%	Sy 9%	Sy 10%	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1,0402	1,2769	1,4408	1,5703	1,6788	1,7732	1,8571	1,933	2,0025	2,0668	
10	1,413	1,7233	1,9389	2,1095	2,2528	2,3775	2,4887	2,5894	2,6817	2,7672	
15	1,7032	2,0667	2,3191	2,5189	2,6868	2,833	2,9634	3,0816	3,19	3,2904	
20	1,9523	2,3595	2,642	2,8654	3,0532	3,2167	3,3626	3,4948	3,6161	3,7285	
25	2,1754	2,6209	2,9293	3,1731	3,378	3,5564	3,7154	3,8596	3,9919	4,1145	
30	2,3801	2,8601	3,1919	3,4539	3,6739	3,8655	4,0363	4,191	4,3331	4,4647	
35	2,5707	3,0826	3,4358	3,7144	3,9483	4,1519	4,3333	4,4977	4,6485	4,7882	
40	2,7501	3,2919	3,665	3,959	4,2058	4,4204	4,6117	4,7849	4,9439	5,0911	
45	2,9202	3,4902	3,8821	4,1907	4,4495	4,6745	4,8749	5,0565	5,223	5,3772	
50	3,0824	3,6795	4,0892	4,4116	4,6817	4,9165	5,1256	5,3149	5,4886	5,6494	
55	3,2379	3,8608	4,2876	4,6231	4,9041	5,1483	5,3656	5,5623	5,7427	5,9097	
60	3,3875	4,0353	4,4785	4,8266	5,118	5,3711	5,5963	5,8001	5,9869	6,1599	
65	3,5318	4,2037	4,6628	5,0231	5,3245	5,5861	5,8188	6,0294	6,2224	6,4011	
70	3,6714	4,3668	4,8412	5,2132	5,5242	5,7942	6,0342	6,2513	6,4503	6,6344	
75	3,8068	4,5249	5,0142	5,3976	5,718	5,996	6,243	6,4665	6,6712	6,8607	
80	3,9384	4,6786	5,1824	5,5769	5,9064	6,1922	6,4461	6,6757	6,886	7,0805	
85	4,0664	4,8283	5,3462	5,7516	6,0899	6,3832	6,6438	6,8793	7,095	7,2946	
90	4,1912	4,9742	5,506	5,9219	6,2689	6,5695	6,8366	7,0779	7,2989	7,5033	
95	4,313	5,1167	5,6621	6,0882	6,4437	6,7515	7,0249	7,2719	7,4981	7,7072	
100	4,432	5,2561	5,8146	6,2509	6,6146	6,9295	7,2091	7,4616	7,6928	7,9065	
105	4,5485	5,3924	5,964	6,4101	6,7819	7,1038	7,3894	7,6474	7,8835	8,1017	
110	4,6625	5,526	6,1103	6,5662	6,946	7,2746	7,5661	7,8294	8,0703	8,2929	
115	4,7742	5,657	6,2539	6,7193	7,1068	7,4421	7,7395	8,008	8,2536	8,4806	
120	4,8838	5,7855	6,3947	6,8695	7,2647	7,6065	7,9097	8,1833	8,4335	8,6647	
125	4,9913	5,9117	6,5331	7,0171	7,4199	7,7681	8,0769	8,3555	8,6103	8,8457	
130	5,097	6,0357	6,6691	7,1622	7,5724	7,927	8,2412	8,5248	8,7841	9,0236	
135	5,2009	6,1577	6,8028	7,3049	7,7224	8,0832	8,403	8,6914	8,9551	9,1987	
140	5,303	6,2777	6,9344	7,4454	7,8701	8,237	8,5622	8,8554	9,1235	9,371	
145	5,4035	6,3958	7,064	7,5837	8,0155	8,3885	8,719	9,017	9,2893	9,5407	
150	5,5025	6,5121	7,1917	7,72	8,1588	8,5378	8,8735	9,1761	9,4527	9,708	
155	5,5999	6,6268	7,3175	7,8543	8,3001	8,685	9,0258	9,3331	9,6138	9,8729	
160	5,696	6,7398	7,4416	7,9867	8,4394	8,8301	9,176	9,4878	9,7727	10,036	
165	5,7906	6,8512	7,564	8,1174	8,5768	8,9733	9,3243	9,6406	9,9295	10,196	
170	5,884	6,9612	7,6847	8,2464	8,7125	9,1147	9,4706	9,7914	10,084	10,355	
175	5,9761	7,0697	7,8039	8,3737	8,8464	9,2542	9,6151	9,9403	10,237	10,511	
180	6,0671	7,1768	7,9216	8,4994	8,9787	9,3921	9,7578	10,087	10,388	10,666	
185	6,1568	7,2827	8,0379	8,6237	9,1095	9,5283	9,8989	10,233	10,537	10,819	
190	6,2455	7,3872	8,1528	8,7464	9,2386	9,663	10,038	10,376	10,685	10,97	
195	6,3331	7,4905	8,2664	8,8678	9,3664	9,7961	10,176	10,518	10,831	11,119	
200	6,4197	7,5927	8,3787	8,9878	9,4926	9,9277	10,312	10,659	10,975	11,267	
205	6,5052	7,6936	8,4897	9,1065	9,6176	10,058	10,447	10,798	11,118	11,413	
210	6,5898	7,7935	8,5996	9,2239	9,7412	10,187	10,581	10,935	11,259	11,557	

**Anexo 5. Tabla 3 Valores soporte de las curvas de diseño de sumideros laterales (captación en ruta) pendiente transversal 3%**

Q	LT	LT	LT	LT	LT	LT	LT	LT	LT	LT
(lps)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
	Sy 1%	Sy 2%	Sy 3%	Sy 4%	Sy 5%	Sy 6%	Sy 7%	Sy 8%	Sy 9%	Sy 10%
215	6,6735	7,8923	8,7083	9,3401	9,8635	10,314	10,713	11,072	11,399	11,701
220	6,7562	7,9901	8,8158	9,4551	9,9845	10,441	10,844	11,206	11,537	11,842
225	6,8381	8,0868	8,9223	9,5689	10,104	10,566	10,973	11,34	11,674	11,983
230	6,9191	8,1826	9,0277	9,6817	10,223	10,689	11,101	11,472	11,81	12,122
235	6,9993	8,2774	9,1321	9,7933	10,341	10,812	11,228	11,603	11,944	12,259
240	7,0787	8,3714	9,2355	9,9039	10,457	10,933	11,354	11,733	12,078	12,396
245	7,1574	8,4644	9,3379	10,013	10,573	11,054	11,479	11,861	12,21	12,531
250	7,2352	8,5565	9,4394	10,122	10,687	11,173	11,602	11,988	12,341	12,665
255	7,3124	8,6479	9,5399	10,23	10,8	11,291	11,725	12,115	12,47	12,798
260	7,3888	8,7383	9,6396	10,336	10,913	11,408	11,846	12,24	12,599	12,93
265	7,4645	8,828	9,7384	10,442	11,024	11,525	11,967	12,364	12,726	13,06
270	7,5396	8,917	9,8364	10,547	11,134	11,64	12,086	12,487	12,853	13,19
275	7,614	9,0051	9,9336	10,651	11,244	11,754	12,205	12,609	12,978	13,318
280	7,6878	9,0925	10,03	10,754	11,353	11,868	12,322	12,731	13,103	13,446
285	7,7609	9,1792	10,125	10,856	11,461	11,98	12,439	12,851	13,226	13,572
290	7,8334	9,2652	10,22	10,958	11,568	12,092	12,554	12,97	13,349	13,698
295	7,9054	9,3505	10,314	11,059	11,674	12,202	12,669	13,089	13,471	13,823
300	7,9767	9,4352	10,408	11,159	11,779	12,312	12,783	13,206	13,591	13,946
305	8,0475	9,5191	10,5	11,258	11,884	12,422	12,896	13,323	13,711	14,069
310	8,1177	9,6025	10,592	11,356	11,987	12,53	13,008	13,439	13,83	14,191
315	8,1874	9,6852	10,683	11,454	12,09	12,637	13,12	13,554	13,949	14,312
320	8,2566	9,7673	10,774	11,551	12,193	12,744	13,231	13,668	14,066	14,432
325	8,3252	9,8488	10,864	11,647	12,294	12,85	13,341	13,781	14,182	14,552
330	8,3934	9,9297	10,953	11,743	12,395	12,955	13,45	13,894	14,298	14,67
335	8,461	10,01	11,042	11,838	12,495	13,06	13,558	14,006	14,413	14,788
340	8,5281	10,09	11,13	11,932	12,595	13,164	13,666	14,117	14,527	14,905
345	8,5948	10,169	11,217	12,026	12,694	13,267	13,773	14,227	14,641	15,021
350	8,661	10,248	11,304	12,119	12,792	13,37	13,879	14,337	14,753	15,137
355	8,7268	10,326	11,391	12,212	12,889	13,472	13,985	14,446	14,866	15,252
360	8,7921	10,404	11,476	12,304	12,986	13,573	14,09	14,554	14,977	15,366
365	8,8569	10,481	11,562	12,395	13,083	13,673	14,194	14,662	15,087	15,479
370	8,9213	10,557	11,646	12,486	13,178	13,773	14,298	14,769	15,197	15,592
375	8,9854	10,633	11,73	12,576	13,274	13,873	14,401	14,875	15,307	15,704
380	9,0489	10,709	11,814	12,665	13,368	13,971	14,503	14,981	15,415	15,815
385	9,1121	10,784	11,897	12,754	13,462	14,07	14,605	15,086	15,523	15,926
390	9,1749	10,859	11,979	12,843	13,555	14,167	14,706	15,19	15,631	16,036
395	9,2373	10,933	12,062	12,931	13,648	14,264	14,807	15,294	15,737	16,145
400	9,2993	11,007	12,143	13,019	13,741	14,361	14,907	15,397	15,844	16,254
405	9,3609	11,08	12,224	13,106	13,832	14,457	15,006	15,5	15,949	16,362
410	9,4222	11,153	12,305	13,192	13,924	14,552	15,105	15,602	16,054	16,47
415	9,4831	11,226	12,385	13,278	14,015	14,647	15,204	15,704	16,159	16,577
420	9,5436	11,298	12,465	13,364	14,105	14,741	15,302	15,805	16,262	16,684

**Anexo 5. Tabla 4 Valores soporte de las curvas de eficiencia de los sumideros de rejilla (posición normal y transversal)**

(Q/Y) (lps/mm)	Tipo de rejilla					
	Tipo liviano		Tipo semipesado		Tipo Pesado	
	Normal	Transversal	Normal	Transversal	Normal	Transversal
0,15	1	1	1	1	1	1
0,3	1	1	1	1	1	1
0,45	0,907627992	0,870961833	0,91559194	0,85337789	0,822027463	0,94622429
0,6	0,734357508	0,704691092	0,756988721	0,705551686	0,68713154	0,790947484
0,75	0,6230839	0,597912691	0,653145794	0,608764839	0,59793984	0,688280168
0,9	0,544804065	0,522795188	0,57896666	0,539626143	0,533729839	0,614368937
1,05	0,486343547	0,466696345	0,522861541	0,487333341	0,48485121	0,558105432
1,2	0,440798387	0,422991109	0,478675284	0,446149519	0,446143983	0,513550085
1,35	0,404178437	0,387850523	0,442810288	0,412721533	0,414574975	0,477211443
1,5	0,37400636	0,358897332	0,413011105	0,384947191	0,388233178	0,44688977
1,65	0,348657426	0,334572438	0,387785774	0,361435909	0,365848956	0,421123605
1,8	0,327018858	0,313808021	0,36610457	0,341227933	0,346542608	0,398900339
1,95	0,308301222	0,295846536	0,347231882	0,323637636	0,329683471	0,379494022
2,1	0,291927909	0,280134668	0,330626983	0,308161031	0,314806463	0,362369307
2,25	0,277467287	0,266258223	0,315882725	0,29441864	0,301560356	0,347121899
2,4	0,264589408	0,253900582	0,302686184	0,282118797	0,289674454	0,333440203
2,55	0,253037438	0,242815286	0,290792539	0,27103332	0,278936433	0,321079818
2,7	0,242608268	0,232807432	0,280007264	0,260980899	0,269177181	0,30984608
2,85	0,233139023	0,223720723	0,27017367	0,251815493	0,260260171	0,299581835
3	0,224497467	0,215428267	0,261164007	0,243418033	0,252073855	0,290158682
3,15	0,216575046	0,207825894	0,252872988	0,235690385	0,244526111	0,281470579
3,3	0,209281759	0,20082724	0,245212987	0,228550877	0,237540123	0,273429106
3,45	0,202542312	0,194360051	0,238110433	0,221930939	0,231051281	0,265959891
3,6	0,1962932	0,18836339	0,231503065	0,215772538	0,225004807	0,25899988
3,75	0,190480462	0,182785473	0,2253378	0,2100262	0,219353926	0,252495229
3,9	0,185057932	0,177582001	0,219569083	0,204649465	0,214058427	0,246399655
4,05	0,179985864	0,172714834	0,214157577	0,199605668	0,209083538	0,24067313
4,2	0,175229844	0,168150946	0,209069119	0,194862968	0,204399014	0,23528084
4,35	0,17075991	0,163861588	0,204273885	0,190393569	0,199978417	0,230192352
4,5	0,16654985	0,159821605	0,199745715	0,186173086	0,19579852	0,225380931
4,65	0,162576625	0,15600889	0,195461553	0,18218003	0,191838829	0,220822987
4,8	0,158819898	0,152403926	0,191400996	0,178395386	0,188081185	0,216497616
4,95	0,155261643	0,148989417	0,187545917	0,174802258	0,184509434	0,212386223
5,1	0,151885823	0,145749973	0,183880152	0,17138558	0,181109153	0,208472207
5,25	0,148678121	0,142671854	0,180389234	0,168131869	0,177867419	0,204740693
5,4	0,14562571	0,139742754	0,177060176	0,165029019	0,17477262	0,201178313
5,55	0,142717063	0,13695161	0,173881282	0,162066129	0,171814283	0,197773013
5,7	0,139941792	0,134288453	0,170841988	0,159233354	0,168982942	0,194513896
5,85	0,137290506	0,131744273	0,167932725	0,156521774	0,166270013	0,191391081
6	0,134754694	0,129310903	0,165144806	0,153923292	0,163667693	0,188395587
6,15	0,132326626	0,126980923	0,16247032	0,151430537	0,161168872	0,18551923
6,3	0,12999258	0,124747576	0,159902051	0,149036781	0,158767058	0,182754535

**Anexo 5. Tabla 4 Valores soporte de las curvas de eficiencia de los sumideros de rejilla (posición normal y transversal)**

(Q) (lps)	Tipo de rejilla					
	Tipo liviano		Tipo semipesado		Tipo Pesado	
	Normal	Transversal	Normal	Transversal	Normal	Transversal
6,6	0,12562146	0,120546631	0,155058315	0,144522174	0,154231163	0,17753333
6,75	0,123559757	0,118568217	0,152771245	0,142390509	0,152086619	0,175064775
6,9	0,121576104	0,116664698	0,150567077	0,140336114	0,150018057	0,172683683
7,05	0,119665942	0,114831703	0,148441101	0,138354596	0,148021221	0,170385153
7,2	0,117825072	0,1130652	0,146388965	0,136441902	0,146092174	0,168164654
7,35	0,116049612	0,111361465	0,144406645	0,13459428	0,144227275	0,166017994
7,5	0,114335973	0,109717053	0,142490413	0,132808255	0,142423144	0,163941284
7,65	0,112680831	0,108128775	0,140636808	0,131080602	0,140676644	0,161930913
7,8	0,111081097	0,106593667	0,138842615	0,129408323	0,138984858	0,159983522
7,95	0,109533906	0,105108979	0,13710484	0,127788629	0,137345067	0,158095982
8,1	0,108036587	0,103672148	0,135420695	0,126218921	0,135754738	0,156265376
8,25	0,106586653	0,102280789	0,133787577	0,124696773	0,134211503	0,15448898
8,4	0,105181784	0,100932673	0,132203052	0,123219916	0,132713149	0,152764245
8,55	0,10381981	0,09962572	0,130664847	0,121786231	0,131257603	0,151088787
8,7	0,102498704	0,098357984	0,129170828	0,12039373	0,129842922	0,149460368
8,85	0,101216566	0,097127641	0,127718998	0,119040551	0,128467286	0,147876892
9	0,099971614	0,095932982	0,126307479	0,117724944	0,127128979	0,146336386
9,15	0,098762177	0,094772404	0,124934508	0,116445265	0,125826394	0,144836998
9,3	0,097586684	0,093644398	0,123598426	0,11519997	0,124558013	0,143376983
9,45	0,096443658	0,092547548	0,12229767	0,113987599	0,123322408	0,141954696
9,6	0,095331707	0,091480517	0,121030767	0,112806783	0,122118232	0,140568586
9,75	0,094249521	0,090442049	0,119796329	0,111656224	0,120944213	0,139217189
9,9	0,093195863	0,089430957	0,118593042	0,110534699	0,119799149	0,137899121
10,05	0,092169566	0,08844612	0,117419666	0,109441053	0,118681903	0,136613075
10,2	0,091169526	0,087486479	0,116275027	0,108374192	0,117591399	0,135357811
10,35	0,090194701	0,086551034	0,115158014	0,10733308	0,116526617	0,134132155
10,5	0,089244102	0,085638838	0,114067575	0,106316736	0,115486591	0,132934996
10,65	0,088316794	0,084748991	0,113002711	0,105324229	0,114470404	0,131765277
10,8	0,087411891	0,083880644	0,111962474	0,104354676	0,113477185	0,130621997
10,95	0,08652855	0,083032989	0,110945965	0,103407238	0,112506107	0,129504202
11,1	0,085665974	0,082205259	0,109952328	0,102481118	0,111556382	0,128410988
11,25	0,084823403	0,081396726	0,10898075	0,101575558	0,110627263	0,127341492
11,4	0,084000116	0,080606698	0,108030456	0,100689837	0,109718036	0,126294893
11,55	0,083195427	0,079834516	0,10710071	0,099823267	0,108828022	0,12527041
11,7	0,082408681	0,079079553	0,106190809	0,098975193	0,107956572	0,124267297
11,85	0,081639256	0,078341211	0,105300083	0,098144991	0,10710307	0,123284843
12	0,080886559	0,077618921	0,104427892	0,097332065	0,106266926	0,122322369
12,15	0,080150024	0,07691214	0,103573627	0,096535847	0,105447575	0,121379226
12,3	0,07942911	0,07622035	0,102736705	0,095755793	0,10464448	0,120454794
12,45	0,078723302	0,075543055	0,101916567	0,094991383	0,103857125	0,119548481
12,6	0,078032107	0,074879782	0,101112682	0,094242122	0,103085019	0,11865972

**Anexo 5. Tabla 5 Valores soporte longitud requerida sumidero de rejillas tipo liviano y tipo semipesado posición normal (pendiente transversal 1%, 2%, 3%)**

Q (lbs)	Rejilla tipo liviano			Rejilla tipo semipesado		
	Sx 1%	Sx 2%	Sx 3%	Sx 1%	Sx 2%	Sx 3%
	L (m)	L (m)	L (m)	L (m)	L (m)	L (m)
0	0	0	0	0	0	0
5	0,2662548	0,21912539	0,21373379	0,23972284	0,18559589	0,19243548
10	0,46357653	0,38151947	0,37213215	0,4173817	0,32740654	0,33504964
15	0,64120138	0,52770318	0,514719	0,57730645	0,45626301	0,46342788
20	0,80713362	0,66426397	0,6479197	0,72670375	0,57735245	0,5833553
25	0,96488032	0,79408814	0,77454954	0,86873118	0,69296858	0,69736662
30	1,11639645	0,9187846	0,89617783	1,00514891	0,80439789	0,80687481
35	1,26292011	1,0393723	1,01379846	1,13707167	0,91245899	0,91277469
40	1,40530126	1,15655075	1,12809373	1,26526471	1,01771602	1,01568057
45	1,544157	1,27082782	1,239559	1,39028364	1,12057985	1,11603846
50	1,67995422	1,38258775	1,34856907	1,51254884	1,22136225	1,21418582
55	1,81305757	1,49213066	1,45541666	1,6323886	1,32030729	1,31038618
60	1,94375911	1,5996969	1,56033623	1,7500659	1,41761088	1,40485063
65	2,07229762	1,70548297	1,66351943	1,8657957	1,51343352	1,49775175
70	2,19887162	1,80965228	1,76512564	1,97975676	1,6079089	1,58923303
75	2,32364861	1,91234266	1,86528931	2,09209987	1,70114997	1,67941552
80	2,44677161	2,01367182	1,96412526	2,20295382	1,79325336	1,76840259
85	2,56836405	2,11374135	2,06173257	2,31242972	1,88430257	1,85628345
90	2,68853349	2,21263975	2,15819757	2,42062442	1,97437045	1,94313583
95	2,80737434	2,31044475	2,25359607	2,52762293	2,06352104	2,02902798
100	2,92497018	2,4072251	2,34799513	2,63350048	2,15181108	2,11402029
105	3,04139538	2,50304203	2,44145448	2,73832406	2,23929114	2,19816653
110	3,15671658	2,59795037	2,53402759	2,84215364	2,32600656	2,28151485
115	3,27099375	2,6919995	2,62576263	2,94504324	2,41199821	2,36410861
120	3,38428118	2,78523407	2,71670316	3,04704171	2,49730308	2,44598702
125	3,49662818	2,87769467	2,80688876	3,14819346	2,58195484	2,52718574
130	3,60807972	2,96941833	2,89635555	3,248539	2,66598421	2,60773727
135	3,718677	3,06043893	2,98513658	3,34811539	2,74941934	2,68767138
140	3,82845786	3,15078763	3,07326224	3,44695673	2,83228614	2,76701543
145	3,93745718	3,24049312	3,16076053	3,5450944	2,91460848	2,84579462
150	4,04570721	3,32958196	3,24765733	3,64255745	2,99640846	2,92403225
155	4,15323783	3,41807872	3,33397662	3,73937277	3,07770657	3,00174994
160	4,2600768	3,50600627	3,4197407	3,83556537	3,15852186	3,07896773
165	4,36624999	3,59338589	3,50497034	3,93115853	3,23887209	3,15570434
170	4,47178155	3,68023744	3,5896849	4,026174	3,31877386	3,2319772
175	4,57669405	3,76657953	3,67390253	4,1206321	3,39824268	3,30780265
180	4,68100868	3,85242956	3,75764022	4,2145519	3,47729313	3,38319598
185	4,78474531	3,93780391	3,84091392	4,3079513	3,55593889	3,45817156
190	4,88792263	4,02271795	3,92373865	4,40084713	3,63419284	3,5327429
195	4,99055828	4,1071862	4,00612855	4,49325526	3,71206712	3,60692275
200	5,09266887	4,19122233	4,08809696	4,58519066	3,78957319	3,68072311

**Anexo 5. Tabla 6 Valores soporte ancho de la rejilla para sumideros transversales  
(pendiente transversal 1%)**

(Q)	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b
(m <sup>3</sup> /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
	Sy 1%	Sy 2%	Sy 3%	Sy 4%	Sy 5%	Sy 6%	Sy 7%	Sy 8%	Sy 9%	Sy 10%
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0,06516	0,0742	0,08006	0,0845	0,08811	0,09117	0,09385	0,09623	0,09837	0,10034
10	0,08748	0,09962	0,10749	0,11345	0,11829	0,12241	0,126	0,12919	0,13207	0,13471
15	0,10393	0,11835	0,1277	0,13478	0,14054	0,14543	0,14969	0,15349	0,15691	0,16004
20	0,11745	0,13375	0,14431	0,15231	0,15882	0,16434	0,16916	0,17345	0,17732	0,18086
25	0,12913	0,14705	0,15867	0,16746	0,17461	0,18069	0,18599	0,1907	0,19496	0,19885
30	0,13953	0,1589	0,17145	0,18095	0,18868	0,19524	0,20097	0,20607	0,21067	0,21487
35	0,14898	0,16966	0,18306	0,1932	0,20146	0,20846	0,21458	0,22002	0,22493	0,22942
40	0,15768	0,17956	0,19375	0,20449	0,21322	0,22064	0,22711	0,23287	0,23807	0,24281
45	0,16577	0,18878	0,20369	0,21498	0,22417	0,23196	0,23877	0,24482	0,25029	0,25528
50	0,17337	0,19743	0,21302	0,22483	0,23443	0,24259	0,2497	0,25603	0,26175	0,26697
55	0,18053	0,20559	0,22183	0,23412	0,24412	0,25261	0,26002	0,26661	0,27257	0,27801
60	0,18733	0,21333	0,23018	0,24294	0,25332	0,26213	0,26982	0,27666	0,28284	0,28848
65	0,19382	0,22071	0,23815	0,25135	0,26209	0,2712	0,27915	0,28623	0,29262	0,29846
70	0,20002	0,22778	0,24577	0,25939	0,27047	0,27988	0,28809	0,29539	0,30199	0,30801
75	0,20597	0,23455	0,25308	0,26711	0,27852	0,28821	0,29666	0,30418	0,31097	0,31718
80	0,2117	0,24108	0,26012	0,27454	0,28627	0,29622	0,30491	0,31264	0,31962	0,326
85	0,21722	0,24737	0,26691	0,2817	0,29374	0,30395	0,31287	0,3208	0,32796	0,33451
90	0,22256	0,25345	0,27347	0,28863	0,30096	0,31143	0,32056	0,32869	0,33603	0,34273
95	0,22774	0,25934	0,27983	0,29534	0,30796	0,31867	0,32801	0,33633	0,34384	0,3507
100	0,23276	0,26506	0,286	0,30185	0,31474	0,32569	0,33524	0,34374	0,35142	0,35843
105	0,23763	0,27061	0,29199	0,30817	0,32134	0,33251	0,34226	0,35094	0,35878	0,36594
110	0,24238	0,27602	0,29782	0,31432	0,32775	0,33915	0,3491	0,35795	0,36594	0,37324
115	0,247	0,28128	0,3035	0,32032	0,33401	0,34562	0,35576	0,36478	0,37292	0,38036
120	0,25151	0,28641	0,30904	0,32617	0,3401	0,35193	0,36225	0,37143	0,37973	0,3873
125	0,25591	0,29143	0,31445	0,33187	0,34605	0,35809	0,36859	0,37793	0,38637	0,39408
130	0,26021	0,29633	0,31973	0,33745	0,35187	0,36411	0,37478	0,38429	0,39287	0,40071
135	0,26442	0,30112	0,3249	0,34291	0,35756	0,36999	0,38084	0,3905	0,39922	0,40719
140	0,26854	0,30581	0,32996	0,34825	0,36313	0,37576	0,38678	0,39658	0,40544	0,41353
145	0,27257	0,3104	0,33492	0,35348	0,36859	0,3814	0,39259	0,40254	0,41153	0,41974
150	0,27653	0,31491	0,33978	0,35861	0,37393	0,38694	0,39829	0,40838	0,4175	0,42583
155	0,28041	0,31933	0,34455	0,36364	0,37918	0,39237	0,40387	0,41411	0,42336	0,43181
160	0,28422	0,32366	0,34923	0,36858	0,38433	0,3977	0,40936	0,41974	0,42911	0,43767
165	0,28796	0,32792	0,35383	0,37344	0,38939	0,40293	0,41475	0,42527	0,43476	0,44344
170	0,29164	0,33211	0,35834	0,3782	0,39436	0,40808	0,42005	0,4307	0,44031	0,4491
175	0,29525	0,33623	0,36279	0,38289	0,39925	0,41314	0,42525	0,43603	0,44577	0,45466
180	0,29881	0,34028	0,36716	0,3875	0,40406	0,41811	0,43037	0,44129	0,45114	0,46014
185	0,30231	0,34426	0,37146	0,39204	0,40879	0,42301	0,43542	0,44645	0,45642	0,46553
190	0,30575	0,34819	0,37569	0,39651	0,41345	0,42783	0,44038	0,45154	0,46163	0,47084
195	0,30915	0,35205	0,37986	0,40091	0,41804	0,43258	0,44527	0,45656	0,46675	0,47606
200	0,31249	0,35586	0,38397	0,40525	0,42257	0,43726	0,45008	0,4615	0,4718	0,48121

**Anexo 5. Tabla 7 Valores soporte ancho de la rejilla para sumideros transversales  
(pendiente transversal 2 %)**

(Q)	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b
(m <sup>3</sup> /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
	Sy 1%	Sy 2%	Sy 3%	Sy 4%	Sy 5%	Sy 6%	Sy 7%	Sy 8%	Sy 9%	Sy 10%
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0,08748	0,09962	0,10749	0,11345	0,11829	0,12241	0,126	0,12919	0,13207	0,13471
10	0,11745	0,13375	0,14431	0,15231	0,15882	0,16434	0,16916	0,17345	0,17732	0,18086
15	0,13953	0,1589	0,17145	0,18095	0,18868	0,19524	0,20097	0,20607	0,21067	0,21487
20	0,15768	0,17956	0,19375	0,20449	0,21322	0,22064	0,22711	0,23287	0,23807	0,24281
25	0,17337	0,19743	0,21302	0,22483	0,23443	0,24259	0,2497	0,25603	0,26175	0,26697
30	0,18733	0,21333	0,23018	0,24294	0,25332	0,26213	0,26982	0,27666	0,28284	0,28848
35	0,20002	0,22778	0,24577	0,25939	0,27047	0,27988	0,28809	0,29539	0,30199	0,30801
40	0,2117	0,24108	0,26012	0,27454	0,28627	0,29622	0,30491	0,31264	0,31962	0,326
45	0,22256	0,25345	0,27347	0,28863	0,30096	0,31143	0,32056	0,32869	0,33603	0,34273
50	0,23276	0,26506	0,286	0,30185	0,31474	0,32569	0,33524	0,34374	0,35142	0,35843
55	0,24238	0,27602	0,29782	0,31432	0,32775	0,33915	0,3491	0,35795	0,36594	0,37324
60	0,25151	0,28641	0,30904	0,32617	0,3401	0,35193	0,36225	0,37143	0,37973	0,3873
65	0,26021	0,29633	0,31973	0,33745	0,35187	0,36411	0,37478	0,38429	0,39287	0,40071
70	0,26854	0,30581	0,32996	0,34825	0,36313	0,37576	0,38678	0,39658	0,40544	0,41353
75	0,27653	0,31491	0,33978	0,35861	0,37393	0,38694	0,39829	0,40838	0,4175	0,42583
80	0,28422	0,32366	0,34923	0,36858	0,38433	0,3977	0,40936	0,41974	0,42911	0,43767
85	0,29164	0,33211	0,35834	0,3782	0,39436	0,40808	0,42005	0,4307	0,44031	0,4491
90	0,29881	0,34028	0,36716	0,3875	0,40406	0,41811	0,43037	0,44129	0,45114	0,46014
95	0,30575	0,34819	0,37569	0,39651	0,41345	0,42783	0,44038	0,45154	0,46163	0,47084
100	0,31249	0,35586	0,38397	0,40525	0,42257	0,43726	0,45008	0,4615	0,4718	0,48121
105	0,31904	0,36332	0,39202	0,41374	0,43142	0,44642	0,45951	0,47116	0,48169	0,4913
110	0,32541	0,37057	0,39984	0,422	0,44003	0,45534	0,46869	0,48057	0,4913	0,50111
115	0,33162	0,37764	0,40747	0,43005	0,44843	0,46402	0,47763	0,48974	0,50067	0,51066
120	0,33767	0,38453	0,41491	0,4379	0,45661	0,47249	0,48635	0,49868	0,50981	0,51998
125	0,34358	0,39126	0,42217	0,44556	0,4646	0,48076	0,49486	0,5074	0,51873	0,52908
130	0,34935	0,39784	0,42926	0,45305	0,47241	0,48884	0,50318	0,51593	0,52745	0,53798
135	0,355	0,40427	0,4362	0,46038	0,48005	0,49674	0,51131	0,52427	0,53598	0,54668
140	0,36053	0,41057	0,443	0,46755	0,48753	0,50448	0,51928	0,53244	0,54433	0,55519
145	0,36595	0,41674	0,44965	0,47458	0,49485	0,51206	0,52708	0,54044	0,55251	0,56353
150	0,37126	0,42279	0,45618	0,48146	0,50203	0,51949	0,53473	0,54828	0,56053	0,57171
155	0,37647	0,42872	0,46258	0,48822	0,50908	0,52678	0,54223	0,55598	0,56839	0,57973
160	0,38158	0,43454	0,46887	0,49485	0,516	0,53394	0,5496	0,56353	0,57612	0,58761
165	0,38661	0,44026	0,47504	0,50137	0,52279	0,54097	0,55683	0,57095	0,5837	0,59534
170	0,39154	0,44588	0,4811	0,50777	0,52946	0,54788	0,56394	0,57824	0,59115	0,60295
175	0,3964	0,45141	0,48707	0,51406	0,53603	0,55467	0,57093	0,58541	0,59848	0,61042
180	0,40117	0,45685	0,49293	0,52025	0,54248	0,56135	0,57781	0,59246	0,60569	0,61777
185	0,40587	0,4622	0,49871	0,52635	0,54884	0,56792	0,58458	0,5994	0,61278	0,62501
190	0,4105	0,46747	0,50439	0,53235	0,55509	0,5744	0,59124	0,60623	0,61977	0,63213
195	0,41505	0,47266	0,50999	0,53826	0,56125	0,58077	0,5978	0,61296	0,62665	0,63915
200	0,41954	0,47777	0,51551	0,54408	0,56733	0,58706	0,60427	0,61959	0,63343	0,64606

**Anexo 5. Tabla 8 Valores soporte ancho de la rejilla para sumideros transversales (pendiente transversal 3 %)**

(Q)	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b
(m <sup>3</sup> /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
	Sy 1%	Sy 2%	Sy 3%	Sy 4%	Sy 5%	Sy 6%	Sy 7%	Sy 8%	Sy 9%	Sy 10%
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0,10393	0,11835	0,1277	0,13478	0,14054	0,14543	0,14969	0,15349	0,15691	0,16004
10	0,13953	0,1589	0,17145	0,18095	0,18868	0,19524	0,20097	0,20607	0,21067	0,21487
15	0,16577	0,18878	0,20369	0,21498	0,22417	0,23196	0,23877	0,24482	0,25029	0,25528
20	0,18733	0,21333	0,23018	0,24294	0,25332	0,26213	0,26982	0,27666	0,28284	0,28848
25	0,20597	0,23455	0,25308	0,26711	0,27852	0,28821	0,29666	0,30418	0,31097	0,31718
30	0,22256	0,25345	0,27347	0,28863	0,30096	0,31143	0,32056	0,32869	0,33603	0,34273
35	0,23763	0,27061	0,29199	0,30817	0,32134	0,33251	0,34226	0,35094	0,35878	0,36594
40	0,25151	0,28641	0,30904	0,32617	0,3401	0,35193	0,36225	0,37143	0,37973	0,3873
45	0,26442	0,30112	0,3249	0,34291	0,35756	0,36999	0,38084	0,3905	0,39922	0,40719
50	0,27653	0,31491	0,33978	0,35861	0,37393	0,38694	0,39829	0,40838	0,4175	0,42583
55	0,28796	0,32792	0,35383	0,37344	0,38939	0,40293	0,41475	0,42527	0,43476	0,44344
60	0,29881	0,34028	0,36716	0,3875	0,40406	0,41811	0,43037	0,44129	0,45114	0,46014
65	0,30915	0,35205	0,37986	0,40091	0,41804	0,43258	0,44527	0,45656	0,46675	0,47606
70	0,31904	0,36332	0,39202	0,41374	0,43142	0,44642	0,45951	0,47116	0,48169	0,4913
75	0,32853	0,37413	0,40368	0,42605	0,44426	0,45971	0,47319	0,48518	0,49602	0,50592
80	0,33767	0,38453	0,41491	0,4379	0,45661	0,47249	0,48635	0,49868	0,50981	0,51998
85	0,34648	0,39457	0,42574	0,44933	0,46853	0,48482	0,49904	0,51169	0,52312	0,53356
90	0,355	0,40427	0,4362	0,46038	0,48005	0,49674	0,51131	0,52427	0,53598	0,54668
95	0,36325	0,41367	0,44634	0,47108	0,49121	0,50829	0,5232	0,53646	0,54844	0,55938
100	0,37126	0,42279	0,45618	0,48146	0,50203	0,51949	0,53473	0,54828	0,56053	0,57171
105	0,37904	0,43164	0,46574	0,49155	0,51255	0,53038	0,54593	0,55977	0,57227	0,58369
110	0,38661	0,44026	0,47504	0,50137	0,52279	0,54097	0,55683	0,57095	0,5837	0,59534
115	0,39398	0,44866	0,4841	0,51093	0,53276	0,55129	0,56745	0,58184	0,59483	0,6067
120	0,40117	0,45685	0,49293	0,52025	0,54248	0,56135	0,57781	0,59246	0,60569	0,61777
125	0,40819	0,46484	0,50156	0,52936	0,55198	0,57117	0,58792	0,60283	0,61629	0,62858
130	0,41505	0,47266	0,50999	0,53826	0,56125	0,58077	0,5978	0,61296	0,62665	0,63915
135	0,42176	0,4803	0,51824	0,54696	0,57033	0,59016	0,60747	0,62287	0,63678	0,64948
140	0,42833	0,48778	0,52631	0,55548	0,57921	0,59936	0,61693	0,63257	0,6467	0,6596
145	0,43477	0,49511	0,53422	0,56382	0,58792	0,60836	0,6262	0,64208	0,65641	0,66951
150	0,44108	0,50229	0,54197	0,57201	0,59645	0,61719	0,63529	0,6514	0,66594	0,67923
155	0,44727	0,50934	0,54958	0,58003	0,60482	0,62585	0,6442	0,66054	0,67529	0,68876
160	0,45334	0,51626	0,55704	0,58791	0,61303	0,63435	0,65296	0,66951	0,68446	0,69812
165	0,45931	0,52306	0,56437	0,59565	0,6211	0,6427	0,66155	0,67832	0,69347	0,70731
170	0,46518	0,52974	0,57158	0,60326	0,62903	0,65091	0,67	0,68698	0,70232	0,71634
175	0,47094	0,5363	0,57867	0,61074	0,63683	0,65898	0,6783	0,6955	0,71103	0,72522
180	0,47661	0,54276	0,58564	0,61809	0,6445	0,66692	0,68647	0,70388	0,71959	0,73395
185	0,4822	0,54912	0,5925	0,62533	0,65205	0,67473	0,69451	0,71212	0,72802	0,74255
190	0,48769	0,55538	0,59925	0,63246	0,65948	0,68242	0,70243	0,72024	0,73632	0,75101
195	0,49311	0,56154	0,6059	0,63948	0,6668	0,68999	0,71023	0,72823	0,74449	0,75935
200	0,49844	0,56762	0,61246	0,6464	0,67402	0,69746	0,71791	0,73611	0,75255	0,76756