

Sistemas de drenaje urbano

Sumideros de captación de aguas lluvias

Carlos Alexis Bonilla Granados, Msc.

Jarol Derley Ramón Valencia, PhD.

Jacipt Alexander Ramón Valencia, PhD.

Guía básica de implementación de diferentes metodologías existentes en el diseño de sumideros mediante el desarrollo de un caso de estudio.



TABLA DE CONTENIDO

PRÓLOGO.....	8
INTRODUCCIÓN.....	9
1. SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE	10
1.1. Alcantarillado sanitario.....	11
1.2. Alcantarillado combinado	14
1.3. Alcantarillado pluvial	15
2. NORMATIVA PARA SUMIDEROS	23
3. GLOSARIO PARA SUMIDEROS	24
4. CASO PRÁCTICO DE ESTUDIO	29
4.1. Capacidad de la vía	31
4.1.1. Cálculo de caudal de aguas lluvias	32
4.1.2. Geometría de la vía	42
4.1.3. Ancho mojado (T).....	42
4.1.4. Profundidad del agua (y).....	43
5. SISTEMAS DE CAPTACIÓN.....	46
5.1. Sumideros laterales.....	46
5.1.1. Metodología FHWA 1984	49
5.1.2. Metodología FHWA 2013	50
5.1.3. Metodología de Comport & Thorton	52
5.1.4. Metodología Materón	54
5.1.5. Reglamento técnico de diseño de sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial. República de Bolivia. (Norma Boliviana)	55
5.1.6. Metodología de Wen Hsiung-Li	57

5.2. Sumideros de rejilla.....	61
5.2.1. Metodología de Wen-Hsioung-Li.....	65
5.2.2. Norma Boliviana 2007.....	67
5.2.3. Metodología del caudal captado como vertedero	70
5.2.4. Metodología FHWA	73
5.2.5. Metodología de Materón	79
5.3. Sumideros ranurados.....	84
5.3.1. Metodología FHWA	84
5.3.2. Metodología de la Texas Department of Transportation	89
5.4. Sumideros combinados	93
5.4.1. Metodología FHWA	95
5.5. Sumideros transversales	98
5.5.1. Metodología de Russo, Gómez y Téllez	99
COMENTARIOS FINALES	102
BIBLIOGRAFÍA	103

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Elementos de un sistema de alcantarillado sanitario	12
Figura 2. Elementos de un sistema de alcantarillado combinado	14
Figura 3. Elementos de un sistema de alcantarillado pluvial	16
Figura 4. Cadena de gestión del agua lluvia	18
Figura 5. Tipologías según su propósito	20
Figura 6. Esquema de tipologías	21
Figura 7. Vista en planta urbanización	30
Figura 8. Diagrama de flujo capacidad de la vía	31
Figura 9. Diagrama de flujo cálculo de caudal de aguas lluvias	32
Figura 10. Ubicación puntos de control	33
Figura 11. Longitud de los puntos de control	34
Figura 12. Curvas intensidad duración frecuencia - IDF Cúcuta	39
Figura 13. Área contribuyente puntos de control 1 y 2	40
Figura 14. Área contribuyente puntos de control 3 y 4	40
Figura 15. Área contribuyente puntos de control 5 y 6	40
Figura 16. Área contribuyente puntos de control 7 y 8	40
Figura 17. Sección transversal de la vía	42
Figura 18. Profundidad del agua junto al andén	43
Figura 19. Profundidad del tirante de agua cuando $T > 3$	44
Figura 20. Sumidero de ventana	47
Figura 21. Vista en planta sumidero lateral	47
Figura 22. Sección longitudinal sumidero lateral	48
Figura 23. Sección transversal sumidero lateral	48
Figura 24. Sumidero lateral con depresión "a"	58
Figura 25. Sumidero de rejilla	62
Figura 26. Sumidero de rejilla – Ubicación	63

Figura 27. Vista en planta sumidero de rejilla	63
Figura 28. Sección longitudinal sumidero de rejilla	64
Figura 29. Sección transversal sumidero de rejilla	64
Figura 30. Sumidero de calle con rejas sin depresión	65
Figura 31. Perímetro y área de un sumidero con rejas	68
Figura 32. Eficiencia de intercepción de flujo frontal de entrada de rejilla	76
Figura 33. Rejilla tipo reticulada	77
Figura 34. Cálculo de R_f para la rejilla	78
Figura 35. Vista en planta sumidero ranurado	84
Figura 36. Entrada de drenaje ranurada en una intersección	85
Figura 37. Porción de caudal interceptado para sumidero ranurado	91
Figura 38. Vista en planta sumidero combinado	94
Figura 39. Sección longitudinal sumidero combinado	95
Figura 40. Sección transversal sumidero combinado	95
Figura 41. Sumidero lateral trabajando como orificio	96
Figura 42. Vista en planta sumidero transversal	98
Figura 43. Sección longitudinal sumidero transversal	99
Figura 44. Sección transversal sumidero transversal	99

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Cotas de terreno	29
Tabla 2. Ubicación puntos de control	34
Tabla 3. Longitudes puntos de control	35
Tabla 4. Coeficiente de escorrentía	36
Tabla 5. Calculo coeficiente de escorrentía	36
Tabla 6. Periodos de retorno	38
Tabla 7. Cálculo del caudal, Método Racional	41
Tabla 8. Ancho de inundación permisible	43
Tabla 9. Geometría de la vía y parámetros hidráulicos	45
Tabla 10. Dimensionamiento sumidero lateral metodología FHWA 1984	50
Tabla 11. Dimensionamiento sumidero lateral metodología FHWA 2013	52
Tabla 12. Dimensionamiento sumidero lateral metodología Comport & Thornton	53
Tabla 13. Dimensionamiento sumidero lateral metodología Materón	55
Tabla 14. Dimensionamiento sumidero lateral metodología Norma Boliviana	57
Tabla 15. Dimensionamiento sumidero lateral metodología Wen Hsiung Li	59
Tabla 16. Dimensionamiento sumidero lateral metodología Johns Hopkins	61
Tabla 17. Dimensionamiento sumidero de rejilla Metodología Wen Hsiung Li	67
Tabla 18. Dimensionamiento sumidero de rejilla metodología Norma Boliviana 2007	69
Tabla 19. Dimensionamiento sumidero de rejilla Metodología del Caudal captado como vertedero	73
Tabla 20. Eficiencias promedio de manejo de escombros de rejillas probadas	74
Tabla 21. Dimensionamiento sumidero de rejilla Metodología FHWA	78
Tabla 22. Relaciones entre los tipos de rejilla y la inclinación horizontal	80
Tabla 23. Dimensionamiento sumidero de rejilla metodología de Materón	83

Tabla 24. Dimensionamiento sumidero de ranurado, metodología de FHWA	88
Tabla 25. Dimensionamiento sumidero ranurado por Metodología de la Texas Departamet of transportation	93
Tabla 26. Dimensionamiento sumidero combinado metodología FHWA	98
Tabla 27. Variables según tipo de rejilla ensayada	100
Tabla 27. Dimensionamiento sumidero transversal metodología de Russo Gómez y Téllez	101

“Hijos de una cultura que nace en un entorno rico en agua, nunca hemos aprendido la importancia del agua para nosotros. Nosotros la entendemos, pero no la respetamos”.

William Ashworth

PRÓLOGO

Como resultado de una consulta minuciosa en la literatura existente sobre hidrología e hidráulica y los distintos elementos que componen los sistemas de drenaje urbano, específicamente aquellos que tienen el objetivo de captar la escorrentía producida por el agua lluvia, se presenta como resultado este documento, en el cual se encuentra un compendio de las diversas tipologías de sumideros de captación de agua lluvia, así como las metodologías más usadas para el dimensionamiento de los mismos, teniendo en cuenta parámetros relacionados con el flujo y las condiciones de la zona de análisis, brindando una herramienta de estudio a estudiantes de ingeniería y profesionales que así lo requieran.

En el primer capítulo se encuentran plasmados conceptos generales sobre el drenaje urbano, con el fin de proporcionar ciertas bases al lector y de esta manera lograr una mejor comprensión del tema tratado; posteriormente se presenta un caso práctico, sobre el cual se desarrollarán el segundo y tercer capítulo de este libro, en los que se explicará de manera clara, de forma sencilla y fácil de entender, las distintas tipologías de sumideros existentes, sus principales características, algunos esquemas y detalles tipo y como ya se mencionó anteriormente, las metodologías más comunes empleadas para su correcto diseño hidráulico.

INTRODUCCIÓN

Esta guía contiene conceptos fundamentales sobre los sistemas urbanos existentes para la captación de agua potable y posterior recolección y evacuación de aguas tanto residuales como de aguas lluvias, con el fin de brindar un conocimiento base sobre el origen de la temática a tratar, para finalmente abarcar de manera específica, los conceptos necesarios sobre los sumideros para la captación de la escorrentía superficial escurrida sobre las vías, teniendo en cuenta sus distintas tipologías, así como las metodologías más conocidas para el dimensionamiento de los mismos.

La recolección de las aguas lluvias suele ser un frecuente inconveniente para los habitantes de las zonas urbanas, ya que gracias a factores como el cambio climático, ha provocado entre otras cosas, desequilibrios en los periodos de lluvias, aumentando la intensidad de las mismas en periodos de tiempo más cortos, generando grandes caudales pico que tienden a superar la capacidad de inundación admisible de las vías, lo cual genera inconvenientes para el transito tanto de vehículos como de peatones en las mismas, por lo que fueron creados los sistemas urbanos de drenaje convencionales, estos cuentan con elementos como colectores y estructuras de captación como los sumideros, esta última cuenta con distintas tipologías para su dimensionamiento, las cuales son tratadas a fondo en este documento, con el fin de plantear distintas soluciones para la implementación de dichas estructuras, teniendo en cuenta su tipología, los distintos parámetros de la vía la zona a intervenir y el tipo de flujo.

1. SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE

Los sistemas urbanos tanto de abastecimiento como de alcantarillado, han sido de vital importancia desde la época precolombina y colonial, a consecuencia de la formación y crecimiento de las principales civilizaciones, las cuales debían contar con abastecimientos de agua para el consumo y la realización de actividades como la agricultura, ganadería, pesca, entre otras, por lo que era necesaria la construcción de grandes obras de ingeniería, que cumplían con dicha función, captando el volumen necesario, tanto de las fuentes superficiales, como de las aguas lluvias, cuando no se contaba con el recurso necesario, almacenando y posteriormente distribuyendo el agua, por medio de sistemas de acueductos de grandes longitudes, conformados por elementos como embalses, diques, canales y tuberías, encargados de abastecer las ciudades más alejadas (Olivero, 1963).

Los sistemas de alcantarillado en ese entonces eran muy escasos, ya que no se le daba la importancia necesaria al desecho de las aguas residuales, producto de la realización de las actividades cotidianas, dejando la eliminación de las mismas a decisión de la comunidad y las pocas canalizaciones con las que se contaba, eran destinadas principalmente para el manejo de la escorrentía producida por las aguas lluvias, por lo que era frecuente la aparición de pestilencias y con ello la insalubridad ocasionada por el mismo motivo (Giraldo Gómez, 2000).

Posteriormente a causa de epidemias como el cólera, en la cual se destacó la importancia del saneamiento básico en las grandes metrópolis, se pudo observar la necesidad de darle más prevalencia a una mejor evacuación de las aguas residuales, por lo que la descarga de las aguas residuales empezó a realizarse hacia los desagües pluviales, con lo cual se dio inicio a los desagües combinados,

logrando dar solución a la problemática de pestilencias en las calles de las zonas intervenidas, esa solución fue eficaz durante muchos años, viéndose reflejado en las tasas de mortalidad de países como París y Bruselas, donde se observa una disminución debido a dichas prácticas (Giraldo Gómez, 2000); estos sistemas aunque fueron efectivos por mucho tiempo, con el transcurso de los años se convirtieron en un problema en distintas ciudades, ya que al realizar sus descargas en los cauces cercanos, sin un tratamiento previo, estos se convirtieron poco a poco en cloacas, que generaban un nuevo problema de salubridad ahora en los alrededores de las ciudades.

Con el objetivo de dar solución a la problemática mencionada en el párrafo anterior, se plantearon distintas soluciones, como el previo tratamiento de las aguas descargadas y el uso de sistemas de alcantarillado sanitario separados, los cuales tendían a ser más económicos que los alcantarillados combinados y con mayores ventajas ambientales, lo que lo convertía en la solución más viable (Metcalf & Harrison Prescott, 2018).

Teniendo en cuenta lo anterior, existentes tres tipos de alcantarillados, usados actualmente, estos se dividen en sistemas separados (alcantarillados sanitario y pluvial) y combinado; los cuales se mencionarán de manera amplia a continuación, con el fin de tener un conocimiento claro de cada uno de ellos.

1.1. Alcantarillado sanitario

Este tipo de alcantarillado se diseña únicamente con el fin de transportar las aguas residuales producto de las distintas actividades, tanto domésticas, como comerciales e industriales, hasta las plantas de tratamiento que se encargan de la purificación de las mismas, para que estas al ser desechadas a los cauces correspondientes, no causen afectaciones ambientales, este tipo de alcantarillados, al transportar grandes cantidades de desperdicios, deben contar

con parámetros establecidos como una buena velocidad y capacidad de arrastre, para que estos sean transportados de manera rápida al punto de descarga, antes de iniciar su proceso de pudrición, con el fin de no producir gases cloacales, los cuales en grandes cantidades pueden ser mortales para el ser humano (Pérez Carmona, 2013).

Los alcantarillados sanitarios se componen de distintos elementos, los cuales se pueden apreciar en la Figura 1.

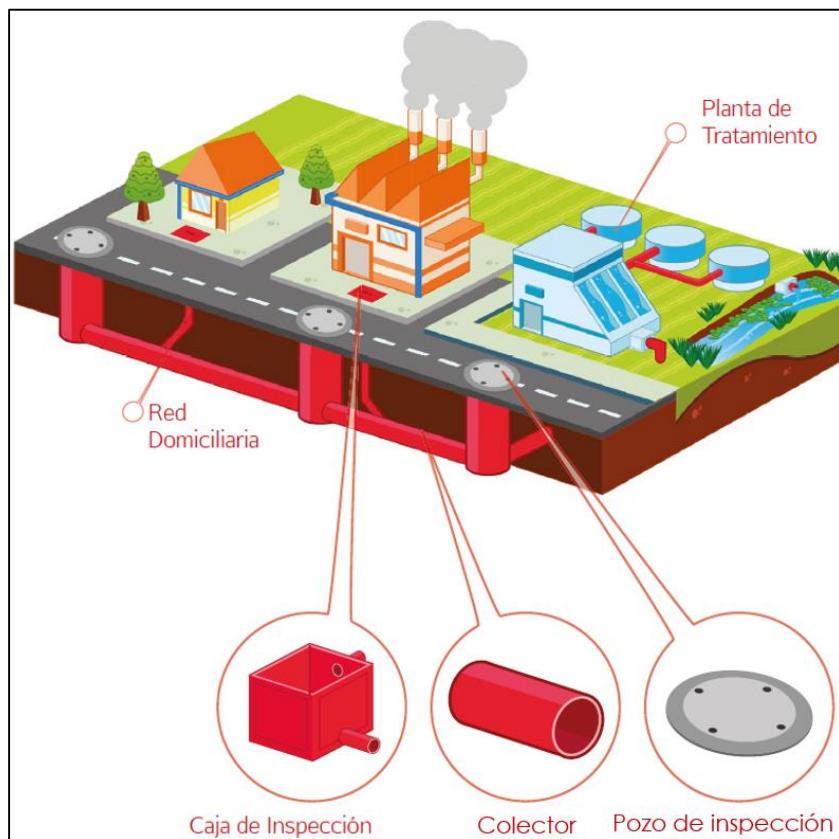


Figura 1. Elementos de un sistema de alcantarillado sanitario
Fuente: (Agua Alcantarillado y Aseo de Bogotá (EAB), 2016)

❖ **Red domiciliaria**

Esta es la conexión legal existente entre la caja de inspección existente, que recibe toda la carga de aguas residuales, provenientes de la red interna de aguas negras del proyecto y el colector de alcantarillado sanitario más cercano

a la misma; esta conexión se realiza por medio de una silla-yee, teniendo en cuenta que el diámetro mínimo para la misma será de 150mm, según la normativa (Mora Palma, 2013).

❖ **Caja de inspección**

Estructura ubicada entre colectores que además de servir para el cambio de dirección, permite inspeccionar la red y realizar un correcto mantenimiento de la misma, por lo que su tamaño debe ser el adecuado para que el personal encargado pueda realizar una fácil limpieza. Debe contar con una cañuela que dirija el paso del caudal de un colector al otro y una tapa removible (ICONTEC, 2004).

❖ **Colector de alcantarillado**

Tubería encargada de transportar las aguas residuales recibidas de las descargas domiciliarias hasta la planta de tratamiento. Se construye bajo tierra, a menudo al medio de las calles importantes, de manera que cada una de las viviendas de esa vía puedan conectarse para la evacuación apropiada de las aguas residuales; están conectadas entre sí por medio pozos de inspección y suelen ser de materiales como PVC, acero galvanizado, hormigón, polietileno, entre otros (Rodríguez Ruiz, 2005).

❖ **Pozos de inspección**

Estructura de inspección construida en ladrillo, concreto o prefabricada, generalmente cilíndrica con forma cónica en la parte superior y con tapa removible para permitir el acceso al mismo, por lo que su diámetro debe ser lo suficientemente grande para acceder una persona; este tipo de estructuras además de permitir las labores de mantenimiento al sistema, sirve como interconexión entre dos o más colectores (Serna Rodríguez, 2002).

1.2. Alcantarillado combinado

Estos sistemas se encargan de captar y transportar el caudal producido por actividades domésticas, comerciales e industriales y la escorrentía proveniente las viviendas y superficies impermeables de las ciudades, dentro de un mismo conducto hasta el aliviadero, donde se aliviará un porcentaje del caudal conducido, para finalmente ser descargado en el cauce natural seleccionado, el caudal restante es transportado hacia la planta de tratamiento, donde será tratado y al igual que el anterior, descargado al cauce natural. Este tipo de sistemas se diseña teniendo en cuenta los parámetros correspondientes al alcantarillado pluvial, ya que este por su volumen, el agua pluvial será la predominante en él; en la Figura 2 se puede observar un esquema general de este tipo de alcantarillado.

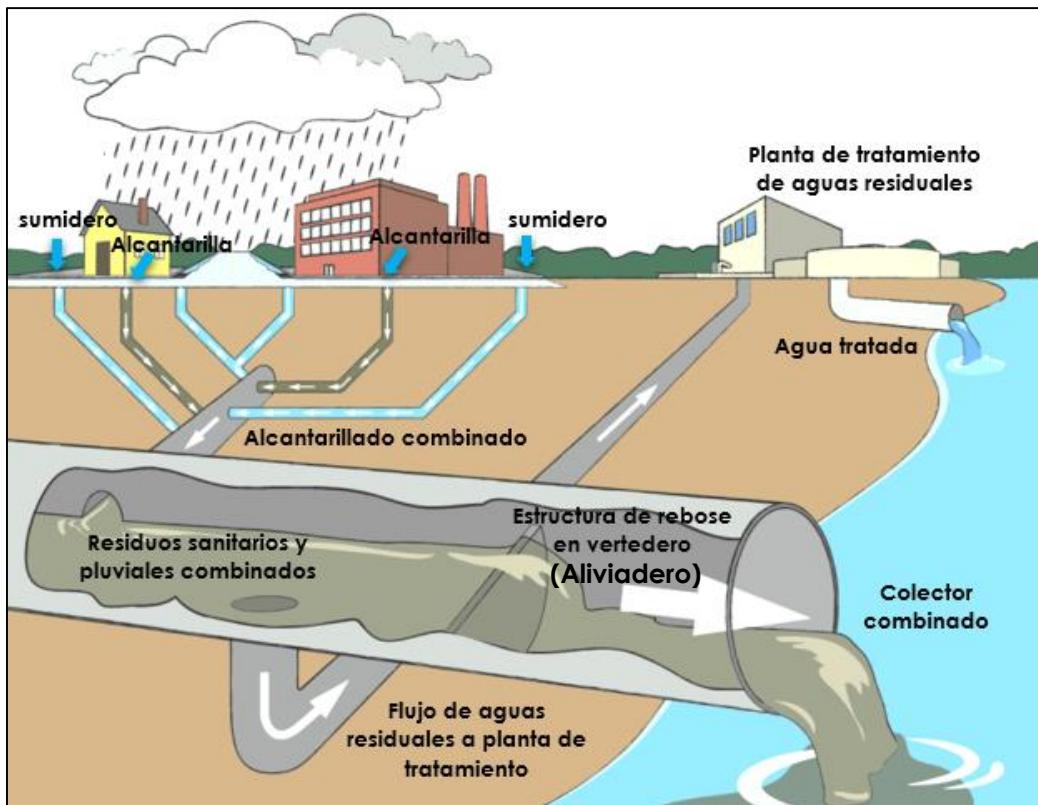


Figura 2. Elementos de un sistema de alcantarillado combinado

Fuente: (Rojas Betancourt, 2016)

❖ **Aliviadero**

Este tipo de estructuras tiene como objetivo, disminuir los costos de conducción del caudal combinado, hasta el sitio de disposición final o la planta de tratamiento, recibiendo un porcentaje del caudal transportado para que este sea aliviado y posteriormente se desborde por medio de un vertedero, hacia el conducto de aguas lluvias, permitiendo que el caudal de agua residual diluida, siga su transcurso hacia la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR).

❖ **Plantas de tratamiento residual**

Es un sistema conformado por elementos como rejas gruesas y medianas, desarenadores, trituradores, microfiltros, entre otros, con los cuales se realiza la eliminación de materia coloidal, suspendida y disuelta en el agua, por medio de métodos químicos, físicos y biológicos, con el objetivo de disminuir sustancialmente la contaminación de los cauces receptores, buscando con esto preservar la flora y la fauna y en general el medio ambiente (Lizarazo Becerra & Orjuela Gutiérrez, 2013).

1.3. Alcantarillado pluvial

Este tipo de alcantarillado se encarga específicamente de la recolección, transporte y evacuación o aprovechamiento del agua lluvia caída sobre las superficies impermeables como cubiertas, patio, vías y andenes, esto con el fin de evitar inundaciones, durante los eventos de precipitación; este tipo de sistemas funcionan, permitiendo la captación de las aguas lluvias recorridas por las vías, por medio de estructuras como sumideros, los cuales descargan dicho caudal a los pozos de inspección, quienes por medio de colectores en serie lo transportan hacia las zonas de descarga, las cuales pueden ser cauces

naturales o canales construidos por el ser humano (Rojas Betancourt, 2016); los elementos mencionados anteriormente se pueden apreciar en la Figura 3.

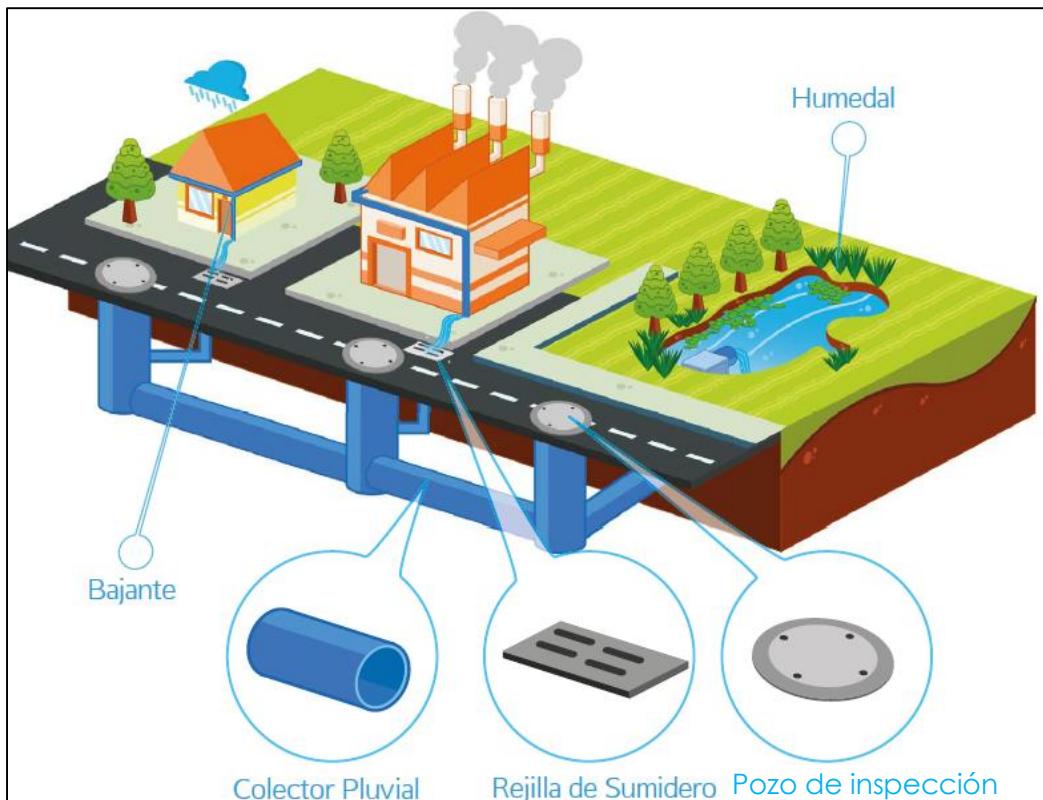


Figura 3. Elementos de un sistema de alcantarillado pluvial

Fuente: (Agua Alcantarillado y Aseo de Bogotá (EAB), 2016)

❖ **Bajantes**

Conductos verticales encargados de conducir el agua lluvia captada por las cubiertas planas o canaletas en caso de cubiertas inclinadas, hacia los pisos inferiores, para así poder ser transportada por colectores, canales, o filtros, hacia las vías cercanas al proyecto (Rodríguez Díaz, 2005).

❖ **Estructuras de descarga**

Este tipo de estructuras terminales están encargadas de proteger y mantener libre la descarga del alcantarillado, evitando deterioros en el último tramo del colector, a causa de la velocidad de flujo o de la corriente que pueda llevar el

cauce donde se realiza la descarga (Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado, 2007).

❖ **Sumideros**

Estas estructuras tienen la función de captar la escorrentía superficial caída sobre las vías, para posteriormente ser conducida hacia el sistema de alcantarillado, con el fin de mantener una inundación mínima en las vías, para prevenir inundaciones que puedan generar inseguridad tanto para los conductores como los peatones de la zona; la capacidad hidráulica de este tipo de estructuras depende en gran parte de su geometría y de las características correspondientes al flujo de la cuneta. Existe una gran variedad de sumideros, entre los cuales está el sumidero de rejilla, sumidero lateral, mixto, transversal y ranurados, cada uno de estos tiene una metodología de diseño distinta, para determinar sus variables, las cuales serán explicadas en este documento (Centro de Investigaciones en Acueductos y Alcantarillados CIACUA, 2009).

❖ **Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible**

Además de los sistemas urbanos convencionales mencionados anteriormente, en los últimos años, el aprovechamiento de las aguas lluvias han vuelto a tomar gran importancia, con el fin de mitigar factores como la escasez de agua potable, el impacto de la urbanización en el ciclo hidrológico de agua, la insuficiencia de estructuras de drenaje que han sido superadas por el aumento del caudal piso, generado a partir de las ampliaciones realizadas a dichos sistemas para darle manejo al crecimiento exponencial de los entornos urbanos y la insensibilidad social, entre muchos otros (Tarazona Tobo, Bonilla Granados, & Rojas Suárez, 2021), por lo cual se han introducido los sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS), como una alternativa que engloba una serie de técnicas, buscando dar soluciones tanto en el planeamiento, como en el diseño de sistemas que gestionen las aguas pluviales de manera eficaz, integrando los aspectos sociales, medioambientales, hidrológicos e hidráulicos, abarcando los tres conceptos del

triángulo de sostenibilidad del drenaje urbano establecido por D'arcy en el año 1998 (calidad, cantidad y servicio), por medio de una serie de tipologías adecuadas para la captación, transporte y almacenamiento de la escorrentía superficial, que trabajan en conjunto formando un tren de SUDS adecuado según las características de la zona a intervenir, dando un manejo adecuado a las aguas lluvias, teniendo en cuenta la cadena de gestión de los SUDS (Sañudo Fontaneda, Rodriguez Hernandez, & Castro Fresno, 2012) la cual se muestra en la Figura 4.

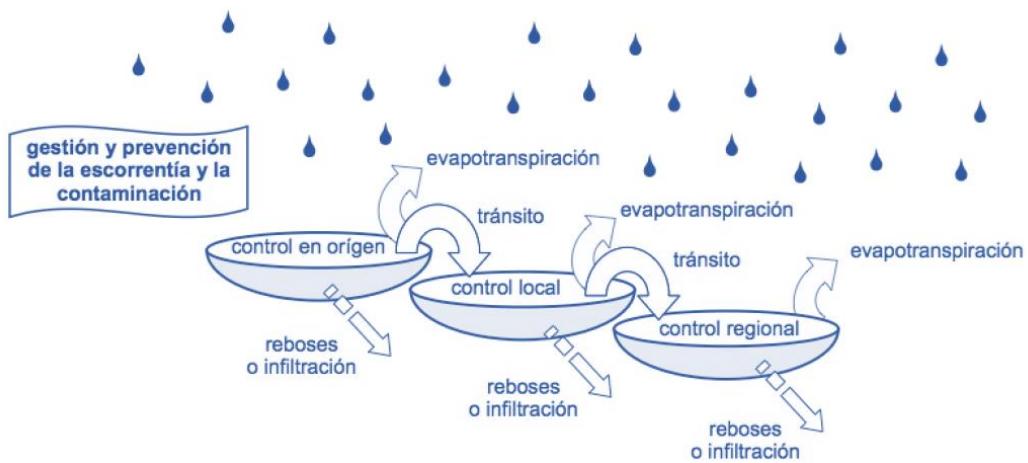


Figura 4. Cadena de gestión del agua lluvia

Fuente: (CIRIA, 2007).

Este tipo de sistemas, como ya se mencionó anteriormente, cuenta con distintas tipologías que se complementan una a la otra, creando un sistema efectivo para el manejo de aguas lluvias, dichas tipologías se clasifican según su función en tres etapas fundamentales, las cuales se mencionan a continuación:

Sistemas de infiltración y control en el origen

estos sistemas, como son los encargados del retener en el inicio la formación de escorrentía superficial, por medio de superficies permeables y zonas verdes, si su implementación es cerca de una edificación o de una vía no debe situarse a

menos de 5m de distancia de ellas, para evitar que el agua infiltrada genere repercusiones en la cimentación de dicha estructura; al ser la infiltración uno de las principales funciones de estas tipologías, es necesario la realización de estudios de suelos, en los que se implementen ensayos para la obtención de valores como la capacidad de infiltración del terreno, la permeabilidad, el nivel freático existente en la zona, entre ellas se encuentran las definidas a continuación:

- Superficies permeables
- Pozos o zanjas de infiltración.
- Depósitos de infiltración.
- Cubiertas verdes.

Sistemas de captación y transporte

como su nombre lo dice se encarga de captar y transportar las aguas lluvias, hasta las zonas de tratamiento o de descargas, este transporte se realiza de manera lenta para que, en el camino la escorrentía tenga la posibilidad de realizar procesos de infiltración, filtración, evaporación y oxigenación, con el propósito de disminuir la lámina de agua y se presente un incremento en la calidad del agua.

- Drenes filtrantes.
- Cunetas verdes.
- Franjas filtrantes.

Sistemas de tratamiento y almacenamiento

estos permiten el almacenamiento de grandes volúmenes de agua y su depuración por procesos naturales, para posteriormente ser aprovechada o vertida en las cuentas naturales, además de agregar valor paisajístico en los sitios donde se implementan.

- Depósitos de detención.
- Estanques de retención.
- Humedales artificiales.
- Tanques de almacenamiento.

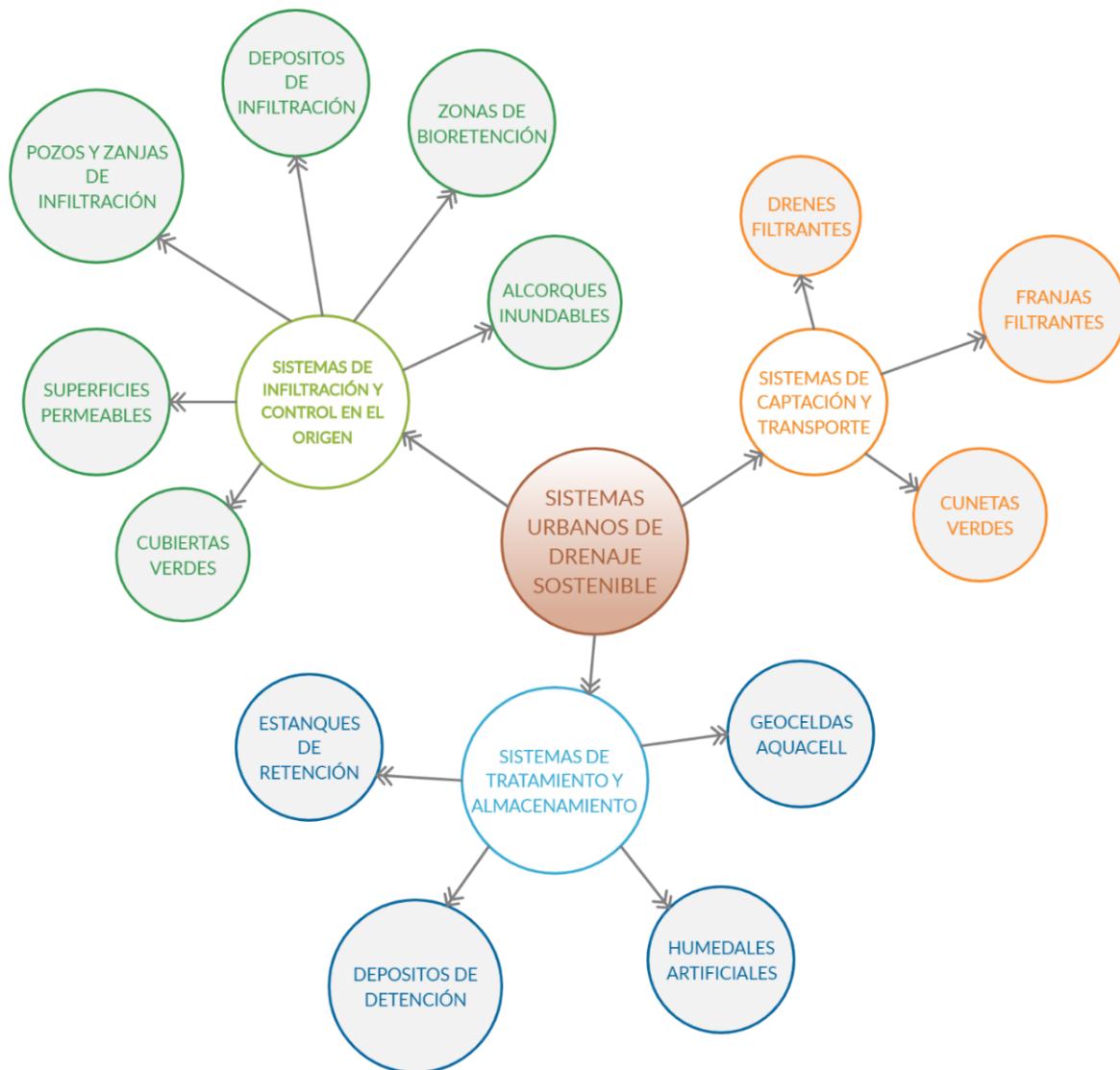


Figura 5. Tipologías según su propósito

Fuente: Editado en (Sañudo Fontaneda et al., 2012)

En la Figura 6 se puede observar el esquema tipo de algunas de las tipologías mencionadas anteriormente.

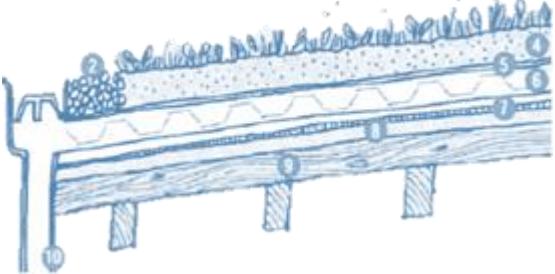
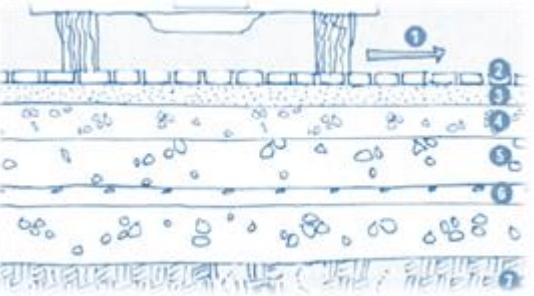
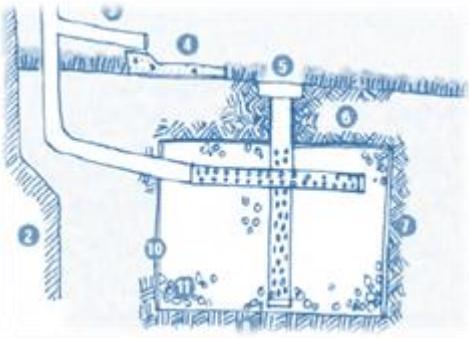
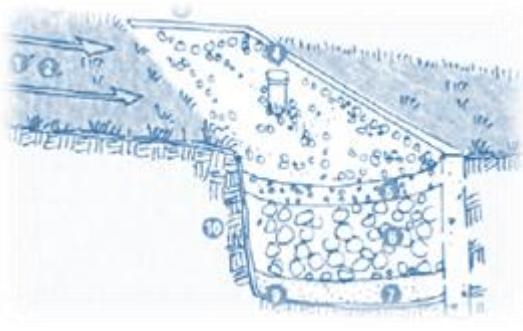
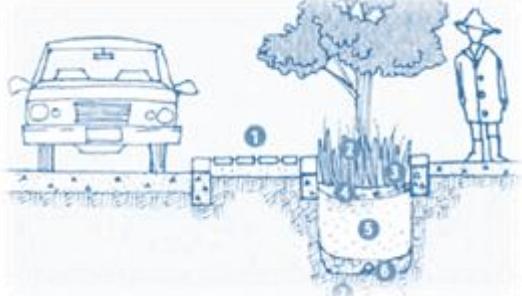
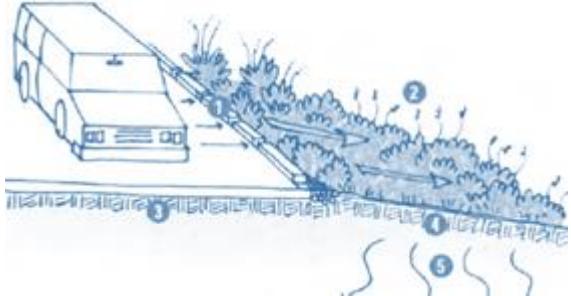
CUBIERTA VERDE	PAVIMENTO PERMEABLE
	
POZO DE INFILTRACIÓN	ZANJAS DE INFILTRACIÓN
	
ÁREA DE BIORRETENCIÓN	FRANJAS FILTRANTES
	
CUNETAS VERDES	HUMEDAL ARTIFICIALES
	

Figura 6. Esquema de tipologías

Fuente: Editado en (Rodríguez Arbelo, 2017)

Como conclusión general, en este capítulo se presenta una introducción sobre los sistemas urbanos de drenaje existentes desde la antigüedad, los cuales han sido de vital importancia para el desarrollo de las poblaciones y las ciudades y que se relaciona de manera directa con la calidad de vida. Los sistemas urbanos de drenaje se siguen aplicando en la actualidad y son una necesidad ante el enfoque innovador del desarrollo sostenible, razón primordial para que los ingenieros civiles y a fines adquieran en su desarrollo académico y profesional amplios conocimientos sobre el correcto diseño hidráulico de dichos sistemas y de cada uno de los elementos que lo componen.

Este documento tendrá como fin brindar un conocimiento amplio, específicamente sobre el correcto diseño de las estructuras de captación de drenaje urbano o comúnmente llamados sumideros de aguas lluvias, por lo que en los siguientes capítulos se expondrán las distintas metodologías existentes tanto para estructuras laterales, como transversales, de rejilla, mixtos o ranurados, planteadas según distintas literaturas.

2. NORMATIVA PARA SUMIDEROS

Resolución 0330 del 08 de junio del 2017. Esta normativa es aplicada a nivel nacional, dando lineamientos para la implementación de sumideros, los cuales se mencionan en el artículo 156°, donde se explica de manera clara la ubicación de los sumideros, el ancho de inundación mínimo permisible en las vías para el uso de estas estructuras y la descarga de las mismas, entre otros factores (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017).

Norma de construcción de sumideros (EPM). Esta normativa creada por las Empresas Públicas de Medellín, tiene un alcance regional y establece los requisitos técnicos mínimos a cumplir, para la construcción de sumideros de rejilla, sumideros de ventana, captación lateral o sumideros mixtos (Empresa Pública de Medellín (EPM), 2019).

Normas de diseño de sistemas de alcantarillado de las Empresas Públicas de Medellín. E.S.P. Este documento busca fijar los criterios básicos para el correcto diseño de los distintos elementos que componen un sistema de alcantarillado, ya sea sanitario o pluvial, entre estos, los sumideros de todo tipo, además de las metodologías y tecnologías requeridas para tal fin; todo esto basado en las normas establecidas en la Resolución 0330 del 08 de junio del 2017, mencionado anteriormente (Empresas Públicas de Medellín E.S.P. (EPM), 2013).

Sumideros y/o captación superficial de aguas lluvias en vías urbanas EMCALI
Estos lineamientos creados por Empresas Municipales de Cali, establecen los criterios de diseño y construcción para los sumideros, para los sumideros, explicando los conceptos básicos a tener en cuenta, parámetros mínimos de diseño y los procedimientos necesarios para su implementación eficiente (Empresas Municipales de Cali, 2012).

3. GLOSARIO PARA SUMIDEROS

Agujeros de acceso: Estructuras de acceso y puntos de control de alineación en tormenta sistemas de drenaje.

Área neta: Es la cantidad de sección en una posible línea de ruptura cuando se restan las perforaciones.

Área tributaria: Es el área de la cuenca que aporta un caudal de aguas lluvias (Empresas Públicas de Medellín E.S.P. (EPM), 2013)

Asfalto: Es un material viscoso, pegajoso y de color negro, usado como aglomerante en mezclas asfálticas para la construcción de carreteras, autovías o autopistas (Valenzuela, 2003).

Banco: El fondo elevado de un orificio de acceso para ayudar a agilizar el flujo a través de la estructura.

Bocas de inspección: Orificio que permite inspeccionar la cámara de recolección de aguas lluvias del sumidero.

Capacidad hidráulica: La capacidad hidráulica de un sumidero corresponde al caudal que éste es capaz de entregar a los colectores (Unda Araya, 2016).

Canales abiertos: Es una construcción destinada al transporte de fluidos; generalmente se utiliza para el transporte de agua; a diferencia de las tuberías es abierta a la atmósfera (Cadavid, 2006)

Calzada: Es la parte de la carretera destinada a la circulación de los vehículos (INVIAS, 2009).

Caudal: Es una variable clave en el diseño y localización de estructuras tipo sumidero en sistemas de drenaje urbano, sobre este particular, es necesario

identificar y definir dos tipos de caudales: caudal de escorrentía y caudal de captación de sumidero (Empresas Públicas de Medellín E.S.P. (EPM), 2013).

Coeficiente de escorrentía: El coeficiente de escorrentía (c), es función del tipo de suelo, del grado de permeabilidad de la zona, de la pendiente del terreno y otros factores que determinan la fracción de la precipitación que se convierte en escorrentía. En su determinación deben considerarse las perdidas por infiltración en el suelo y otros efectos retardantes de la escorrentía (Prada Forero, 2009).

Concreto reforzado: Material ampliamente empleado, que aprovecha en forma muy eficiente las características de buena resistencia en compresión, durabilidad, resistencia al fuego y moldeabilidad, junto con las de alta resistencia en tensión y ductilidad del acero, para formar un material compuesto que reúne muchas de las ventajas de ambos materiales componentes. Manejando de manera adecuada la posición y cuantía del refuerzo, se puede lograr un comportamiento notablemente dúctil en elementos sujetos a flexión (Lamus Báez & Andrade Pardo, 2015)

Concreto simple: Es un material semejante a la piedra que se obtiene mediante una mezcla cuidadosamente proporcionada de cemento, arena y grava u otro agregado y agua; mezcla que se endurece en formaletas con la forma y dimensiones de la estructura deseada. La mayor parte del material consta de agregado fino y grueso. El cemento y el agua interactúan químicamente para unir las partículas del agregado y conformar una masa sólida. Es necesario agregar agua además de aquella que se requiere para la reacción química con el fin de dar a la mezcla la manejabilidad adecuada que permita llenar las formaletas y rodear el acero de refuerzo embebido en el concreto antes de que inicie el endurecimiento (del Valle Moreno, Pérez López, & Maerínez Madrid, 2001).

Corona: Elevación superior dentro de un conducto.

Cuneta: Zanja o canal de tamaño relativamente pequeño diseñado y construido con la finalidad de recoger las aguas de lluvia (Empresas Públicas de Medellín E.S.P. (EPM), 2013).

Curvas de intensidad: Constituyen la base climatológica para la estimación de los caudales de diseño. Estas curvas sintetizan las características de los eventos extremos máximos de precipitación de una determinada zona y definen la intensidad media de lluvia para diferentes duraciones de eventos de precipitación con periodos de retorno específicos (Prada Forero, 2009).

Desarenador: Es una estructura diseñada para retener la arena que traen las aguas servidas o las aguas superficiales a fin de evitar que ingresen, al canal de aducción, a la central hidroeléctrica o al proceso de tratamiento y lo obstaculicen creando serios problemas.

Entradas combinadas: Uso de una entrada de apertura de acera y una entrada de rejilla.

Escoorrentía: Es la lámina de agua que circula en una cuenca de drenaje, es decir, la altura en milímetros de agua de lluvia escurrida y extendida dependiendo la pendiente del terreno. Normalmente se considera como la precipitación menos la evapotranspiración real y la infiltración del sistema suelo – cobertura vegetal (Aparicio Mijares, 1989).

Flujo crítico: Flujo en un canal abierto que tiene una energía específica mínima y tiene un número de Froude igual a 1.0 (Rocha Felices, 2007).

Intensidad de lluvia: Es el caudal de la precipitación pluvial en una superficie por unidad de tiempo. Se mide en milímetros por hora (mm/hora) y también en litros por segundo por hectárea (l/s/Ha) (Comisión Nacional del Agua, 2007).

Pavimento: Es la capa constituida por uno o más materiales que se colocan sobre el terreno natural o nivelado, para aumentar su resistencia y servir para la circulación de personas o vehículos (Cruz Parra & Castellanos Villarreal, 2017)

Pendiente transversal de la vía: Es un término que describe el grado de inclinación que presenta cada carril que conforma la vía en sentido contrario al grado de inclinación longitudinal. En el diseño geométrico de vías se conoce comúnmente como bombeo (Barbosa Martínez, 2018)

Periodo de diseño: Se denomina periodo de diseño al número de años en el que algún proyecto brinda el servicio con calidad y eficiencia (Pozuelos Aquino, 2018)

Periodo de retorno: el periodo de retorno de un suceso se define como el tiempo que, como promedio, separa a las diferentes repeticiones de una determinada lluvia (Empresas Públicas de Medellín E.S.P. (EPM), 2013).

Profundidad crítica: Profundidad de flujo durante un flujo crítico.

Rasante: Es la cota que determina la elevación del terreno en cada punto (Prada Forero, 2009).

Sumideros: Los sumideros son estructuras diseñadas y construidas para cumplir con el propósito de captar las aguas de escorrentía que corren por las cunetas de las calzadas de las vías para entregárselas a las estructuras de conexión de los alcantarillados combinados o de lluvias (Franco Calderón, 2015).

Sumidero combinado: Las entradas combinadas que consisten en una rejilla y una abertura de bordillo se consideran aconsejables para su uso en panteos donde pueden producirse estanques peligrosos.

Sumidero de rejilla: Consiste en una abertura en la canaleta o zanja cubierta por una rejilla. Como clase, se desempeña satisfactoriamente en una amplia gama de grados de canalones. Las entradas de rejilla generalmente pierden capacidad con el aumento de la pendiente, pero en menor grado que las entradas de apertura de la acera (Franco Calderón, 2015).

Sumideros laterales: Consisten en una abertura en el bordillo o cordón de acera a manera de ventana lateral que permite la captación de agua que fluye por la cuneta. La ventana puede estar deprimida con respecto a la cuneta, lo cual permite mayor captación de escurrimiento (Guayambuco Quintero & Collazos Díaz, 2010).

Sumidero ranurado: Las entradas ranuradas son entradas efectivas de drenaje de pavimento que tienen una variedad de aplicaciones. Se pueden usar en secciones curvadas o no curvadas y ofrecen poca interferencia a las operaciones de tráfico.

Sumidero transversal: Las entradas transversales son aquellas que se presentan transversalmente a la vía, estos se emplean donde el porcentaje de pendiente es considerable por lo que entonces la velocidad del agua es más alta (Blanco Giraldo & Molina Fernandez, 2015).

Tiempo de concentración: Está compuesto por el tiempo de entrada y el tiempo de recorrido en el colector. El tiempo de entrada corresponde al tiempo requerido para la escorrentía llegue al sumidero del colector, mientras que el tiempo de recorrido se asocia con el tiempo de viaje o tránsito del agua dentro del colector (Pérez López, 2015)

4. CASO PRÁCTICO DE ESTUDIO

En la Figura 7 se muestra una urbanización, la cual cuenta con las cotas de terreno mostradas en la Tabla 1. Ella está compuesta por zonas residenciales con casas separadas rodeadas de jardines, Residencial unifamiliar, casas contiguas con jardines pequeños y un parque recreacional. Teniendo también un ancho de vía de 6 metros, andenes de 2,5 metros y un bombeo de 2,0%.

Tabla 1. Cotas de terreno

Punto	B - 1	A - 2	B - 2	A - 3	B - 3	C - 3	A - 4	B - 4	C - 4	B - 5	-
Cota	378,2	377,4	376,92	375,4	373,32	376,2	372,7	371,3	373,7	369,2	m.s.n.m.

Fuente: Elaboración propia

Para esta situación serán evaluados los puntos B – 2, B – 3, B – 4 Y B – 5. Donde se tomará un punto de control por cada carril de la vía, esto con el objetivo de revisar en que puntos se van a necesitar sistemas de captación de aguas lluvias y poder aplicar cada una de las metodologías consultadas en este proyecto.

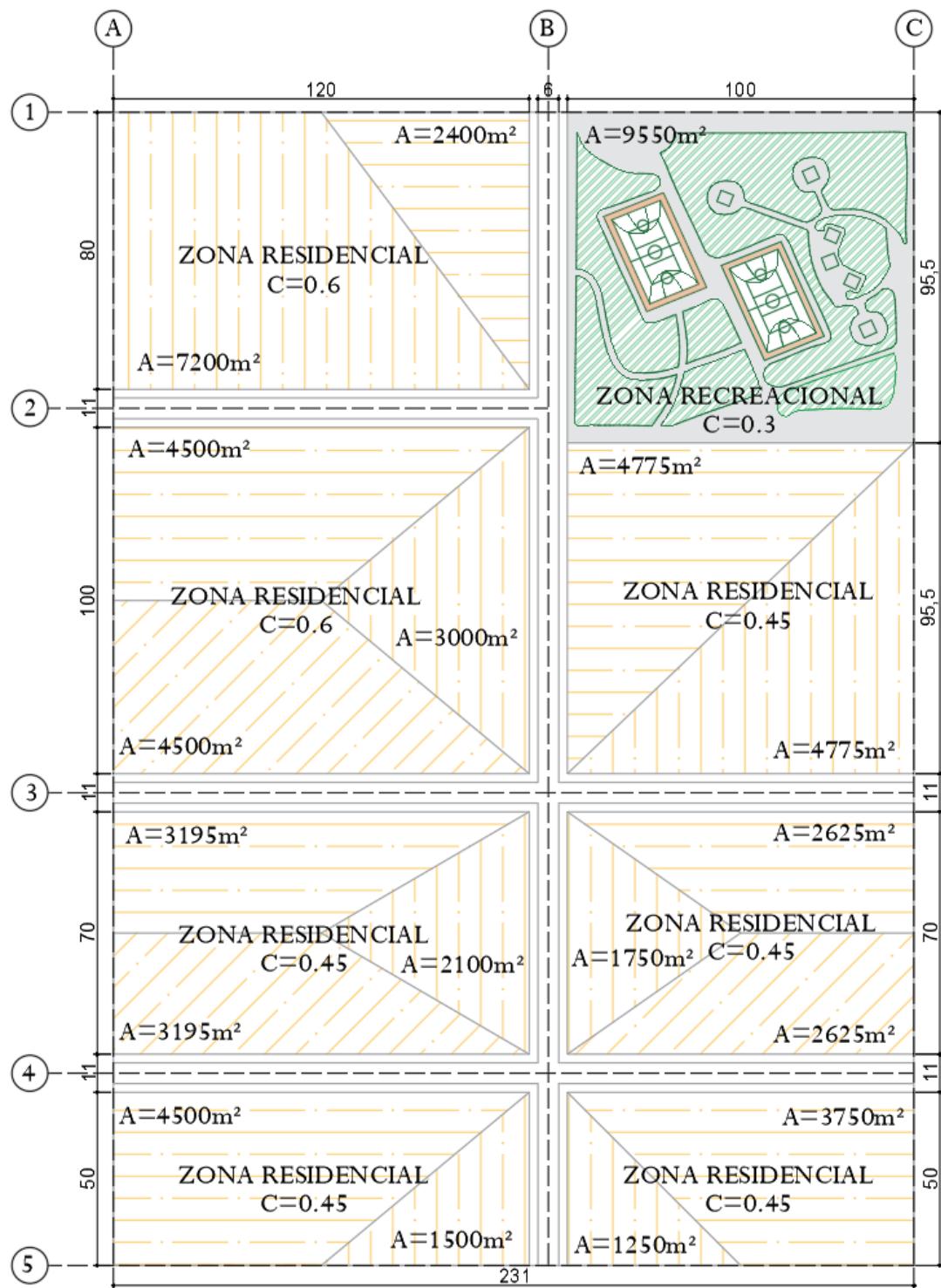


Figura 7. Vista en planta urbanización

Fuente: Elaboración propia

4.1. Capacidad de la vía

Para evaluar la capacidad de la vía, se representa este proceso en el diagrama de flujo que se muestra en la Figura 8.

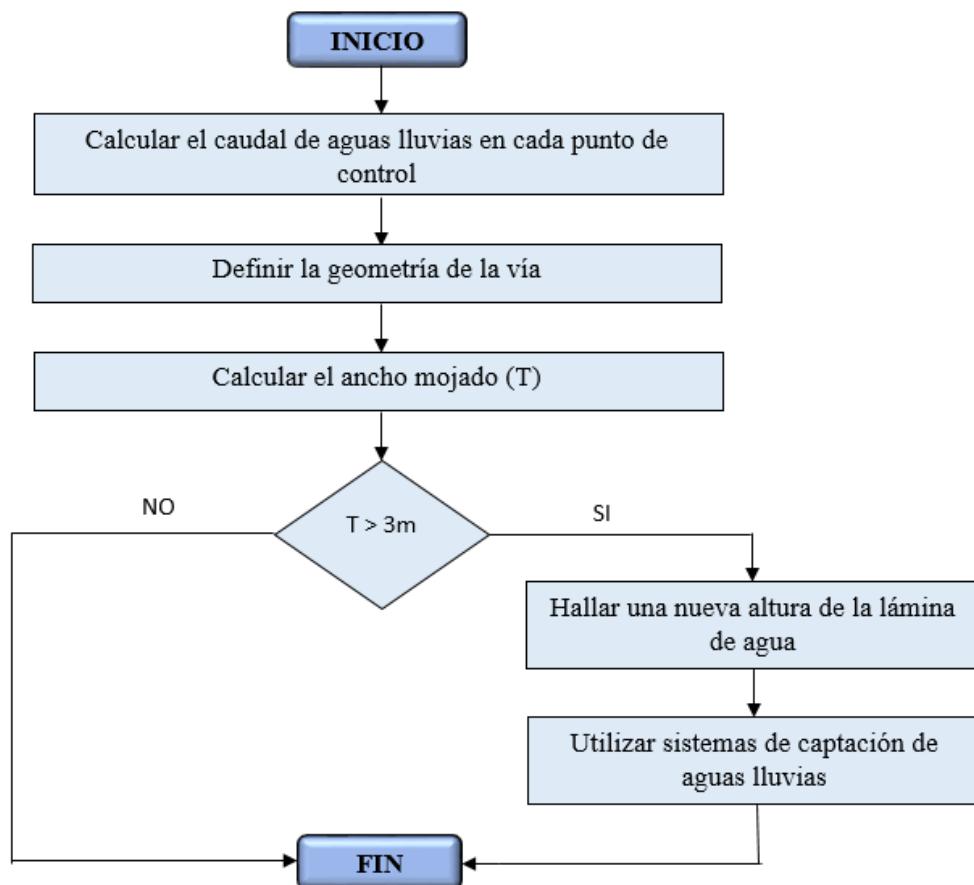


Figura 8. Diagrama de flujo capacidad de la vía

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al diagrama de flujo, se procede a hallar el caudal, teniendo en cuenta los parámetros geométricos de la vía, para esto se determina el ancho de inundación de cada carril, teniendo en cuenta que según el Resolución 0330 del 08 de junio de 2017, el ancho de inundación permisible para una vía de 6 metros si a vía tiene 6m es de 3 metros y si este se excede, es necesaria la implementación de sistemas de captación de aguas lluvias (sumideros).

4.1.1. Cálculo de caudal de aguas lluvias

Para la estimación del caudal de diseño de aguas lluvias se utilizó el método racional. En el cual se determina el caudal a partir del tiempo de concentración, las áreas tributarias y la intensidad de lluvia; es posible representar este proceso en el diagrama de flujo que se muestra en la Figura 9.

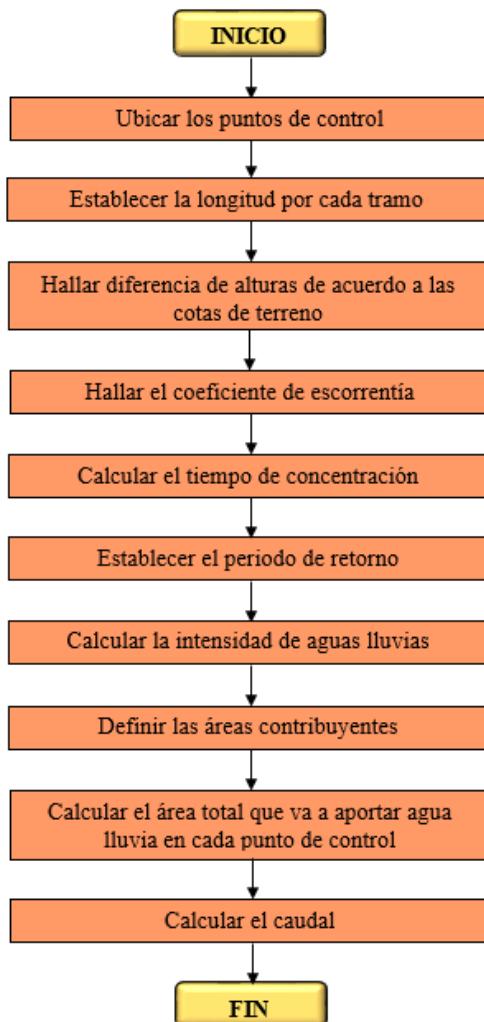


Figura 9. Diagrama de flujo cálculo de caudal de aguas lluvias

Fuente: Elaboración propia

4.1.1.1. Ubicar los puntos de control

Para definir la necesidad de los sistemas de captación de aguas lluvias. se establecen los puntos de control, donde se evalúa el comportamiento del caudal y la capacidad de la vía. Para este proyecto se eligió la calle principal,

teniendo en cuenta que según las cotas de terreno mostradas en la **Tabla 1**, es hacia donde drenarán las aguas lluvias de las demás calles, dichos puntos se observan en la Figura 10 y se encuentran ubicados por ejes como se muestra en la Tabla 2.

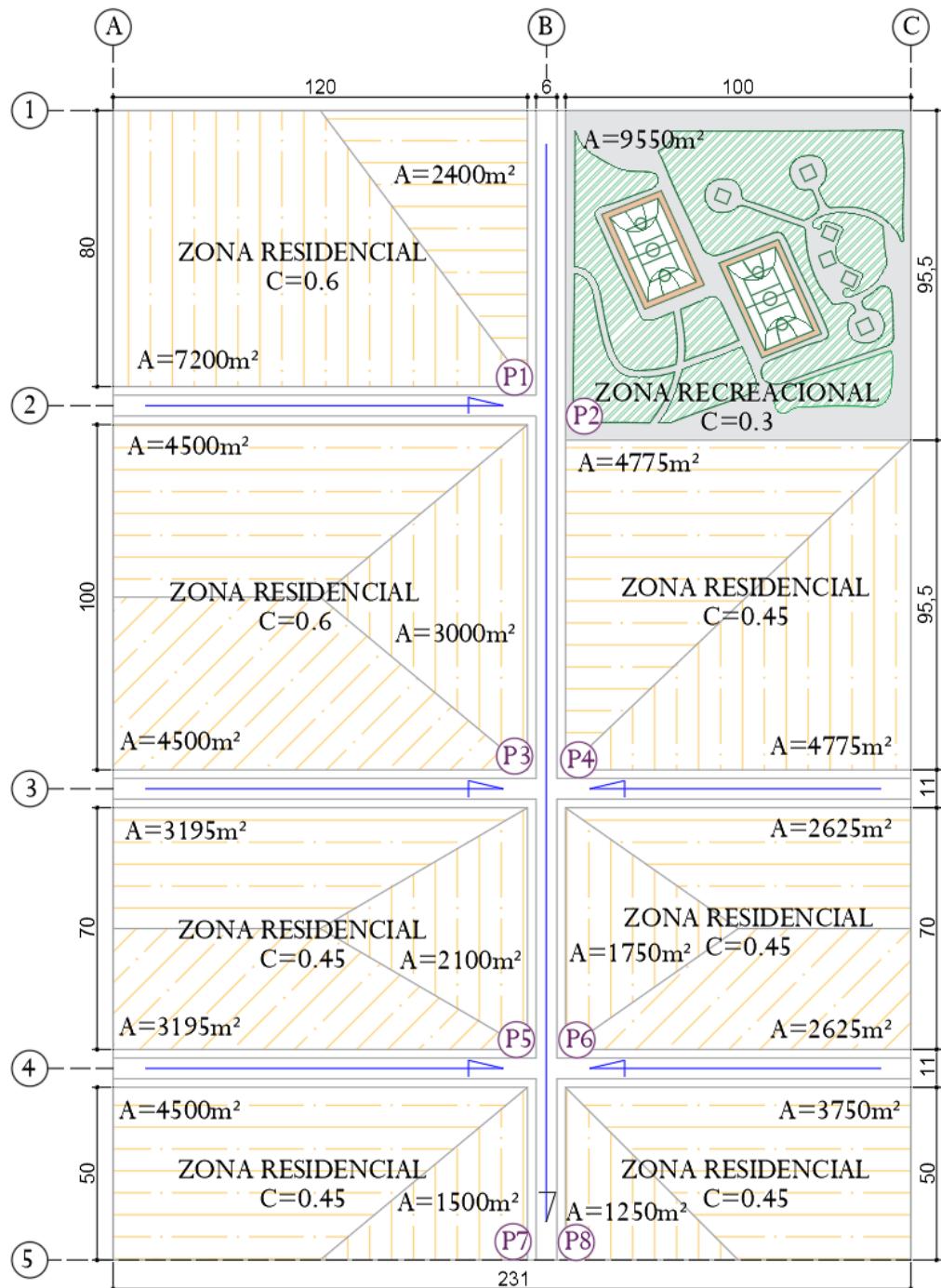


Figura 10. Ubicación puntos de control

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2. Ubicación puntos de control

Punto	1 y 2	3 y 4	5 y 6	7 y 8
Ejes	B - 2	B - 3	B - 4	B - 5

Fuente: Elaboración propia

4.1.1.2. Longitud por tramos (L)

Este dato es usado principalmente para calcular la pendiente longitudinal de la cuenca o la zona a drenar, para este caso se tomó la longitud de las calles principales como las correspondientes para los tramos de cada punto de control, estas se observan en la Figura 11 y la Tabla 3.

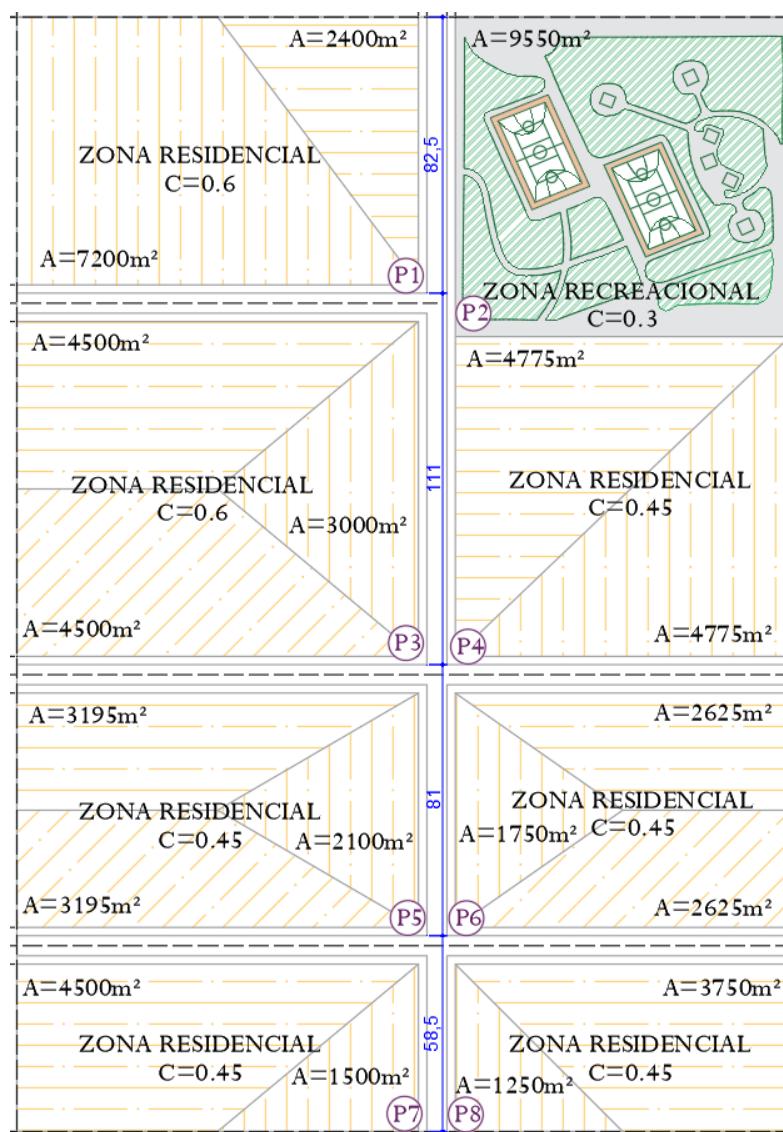


Figura 11. Longitud de los puntos de control

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Longitudes puntos de control

Punto	1 y 2	3 y 4	5 y 6	7 y 8	-
Longitud	82,50	111,00	81,00	58,50	[m]

Fuente: Elaboración propia

4.1.1.3. Diferencia de alturas (Δh)

La diferencia de alturas se establece de acuerdo a las cotas del terreno mostradas en la Tabla 1 de la siguiente manera:

❖ **Puntos 1 y 2**

$$\Delta h = 378.2 - 376.92 = 1.28$$

❖ **Puntos 3 y 4**

$$\Delta h = 376.92 - 373.32 = 3.6$$

❖ **Puntos 5 y 6**

$$\Delta h = 373.32 - 371.3 = 2.02$$

❖ **Puntos 7 y 8**

$$\Delta h = 371.3 - 369.2 = 2.11$$

4.1.1.4. Coeficiente de escorrentía (C)

El coeficiente de escorrentía (c), es función del tipo de suelo, del grado de permeabilidad de la zona, de la pendiente del terreno y otros factores que determinan la fracción de la precipitación que se convierte en escorrentía. En su determinación deben considerarse las perdidas por infiltración en el suelo y otros efectos retardantes de la escorrentía.

Para hallar el coeficiente de escorrentía se utiliza la ecuación (1), dada por la metodología descrita por Ven Te Chow y se emplean los valores de referencia para los tipos de superficie de la Tabla 4.

$$C = \frac{(\sum C * A)}{\sum A} \quad (1)$$

Tabla 4. Coeficiente de escorrentía

Tipo de superficie	C
Cubiertas	0,75 - 0,95
Pavimentos asfálticos y superficies de concreto	0,70 - 0,95
Vías adoquinadas	0,70 - 0,85
Zonas comerciales o industriales	0,60 - 0,95
Residencial con casas contiguas, predominio de zonas	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 y parques - cementerios	0,30
Laderas sin vegetación	0,60
Laderas con vegetación	0,30
Parques recreacionales	0,20 - 0,35

Fuente: (Ministerio de vivienda, 2017)

De acuerdo a la información dada en la situación de estudio, se elige el coeficiente de escorrentía correspondiente a cada tipo de superficie, estos se enuncian en la Tabla 5.

Tabla 5. Calculo coeficiente de escorrentía

C	A	C*A
	(ha)	
0,6	0,96	0,576
0,6	1,2	0,720
0,45	0,849	0,382
0,45	0,6	0,270
0,45	0,5	0,225
0,45	0,7	0,315
0,45	0,96	0,432
0,3	0,95	2,920
TOTAL	6,719	5,840

Fuente: Elaboración propia

$$C = \frac{(\Sigma C * A)}{\Sigma A} = \frac{5.840}{6.719} = 0.87 \quad (2)$$

Se tiene para el caso de estudio, un coeficiente de escorrentía de 0.87.

4.1.1.5. Tiempo de concentración

Para el cálculo del tiempo de concentración se utiliza la ecuación (3) propuesta por la FAA de los Estados Unidos.

$$T_e = \frac{0.707 * (1.1 - C) * L^2}{S^3} \quad (3)$$

Donde:

- ❖ **C**= Coeficiente de escorrentía
- ❖ **L**= longitud (m)
- ❖ **S**= Pendiente promedio lineal, está pendiente se haya dividiendo la diferencia de altura en la longitud del tramo.

4.1.1.6. Periodo de retorno (Tr)

El periodo de retorno de la lluvia de diseño se debe seleccionar de acuerdo con la importancia de las áreas y los daños, perjuicios o molestias que las inundaciones puedan ocasionar a los habitantes, el tráfico, el comercio, la industria y la infraestructura. En ningún caso podrán ser menores que los valores mostrados en la Tabla 6.

Para este ejercicio, se tiene un área total de 6.719 Hectáreas, teniendo en cuenta esta y los valores dados en la Tabla 6, el periodo de retorno a trabajar será de 5 años.

Tabla 6. Periodos de retorno

Características del área de drenaje	Periodo de retorno (años)
Tramos iniciales en zonas residenciales con áreas tributarias menores de 2 hectáreas	3
Tramos iniciales en zonas comerciales o industriales, con áreas tributarias menores a 2 hectáreas.	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias entre 2 y 10 hectáreas	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias mayores de 10 hectáreas	10
Canales abiertos que drenan áreas menores a 1000 hectáreas	50
Canales abiertos en zonas planas y que drenan áreas mayores a 1000 hectáreas	100
Canales abiertos en zonas montañosas (alta velocidad) o a media ladera, que drenan áreas mayores a 1000 hectáreas	100

Fuente: (Ministerio de vivienda, 2017)

4.1.1.7. Intensidad de lluvia (I)

Es el caudal de la precipitación pluvial en una superficie por unidad de tiempo. Se mide en milímetros por hora (mm/hora) y también en litros por segundo por hectárea (l/s/Ha) (Comisión Nacional del Agua, 2007).

Para este ejercicio se utilizaron las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) de la ciudad de San José de Cúcuta, Norte de Santander, proporcionadas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), las cuales se muestran en la Figura 12.

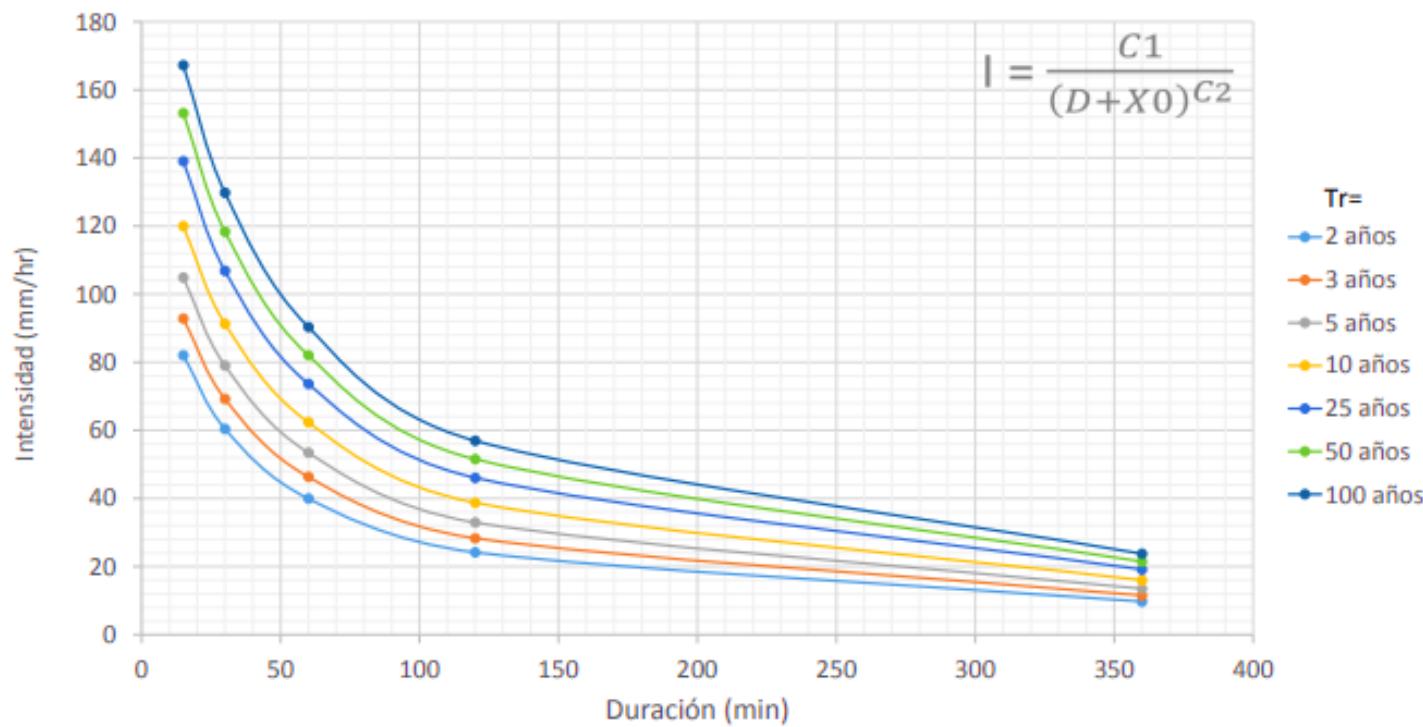
Para hallar la intensidad se utiliza la ecuación (3), empleada por el IDEAM:

$$I = \frac{C1}{(D + X0)^{C2}} \quad (4)$$

Donde:

- ❖ **C1** = 3218,148 (Para un periodo de retorno de 5 años)
- ❖ **D** = Tiempo de concentración
- ❖ **X0** = 26,547 (Para un periodo de retorno de 5 años)

CURVAS INTENSIDAD DURACION FRECUENCIA - IDF
ESTACIÓN: APTO CAMILO DAZA (CÚCUTA)
CÓDIGO: 1601501



TR (años)	C1	X0	C2
2	2393.698	23.248	0.926
3	2766.321	24.899	0.921
5	3218.148	26.547	0.919
10	3827.385	28.354	0.919
25	4647.123	30.280	0.920
50	5283.186	31.498	0.922
100	5933.377	32.561	0.924

D (min)	I _{TR=2}	I _{TR=3}	I _{TR=5}	I _{TR=10}	I _{TR=25}	I _{TR=50}	I _{TR=100}
15	82.0	92.8	104.9	120.0	139.1	153.3	167.3
30	60.6	69.3	79.0	91.2	106.6	118.0	129.3
60	39.9	46.4	53.6	62.7	74.1	82.6	91.1
120	24.0	28.1	32.7	38.4	45.7	51.1	56.5
360	9.9	11.7	13.7	16.2	19.3	21.6	23.9

Figura 12. Curvas intensidad duración frecuencia - IDF Cúcuta
Fuente: (IDEAM)

4.1.1.8. Áreas contribuyentes

Estas áreas hacen referencia al área de la superficie aferente a cada punto de control, la cual se encuentra definida como la cuenca que drena hacia el punto de control, teniendo en cuenta la topografía y geometría de las vías; como se muestra de la Figura 13 a la Figura 16.

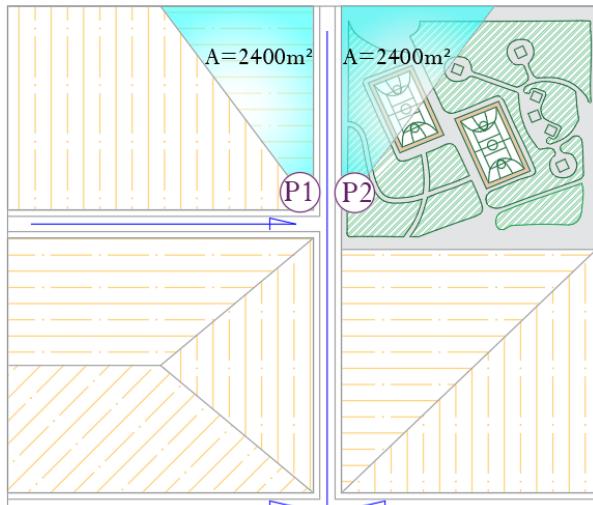


Figura 13. Área contribuyente puntos de control 1 y 2

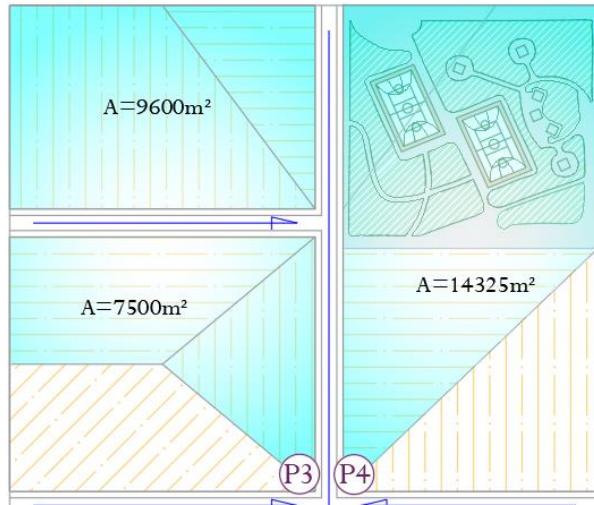


Figura 14. Área contribuyente puntos de control 3 y 4

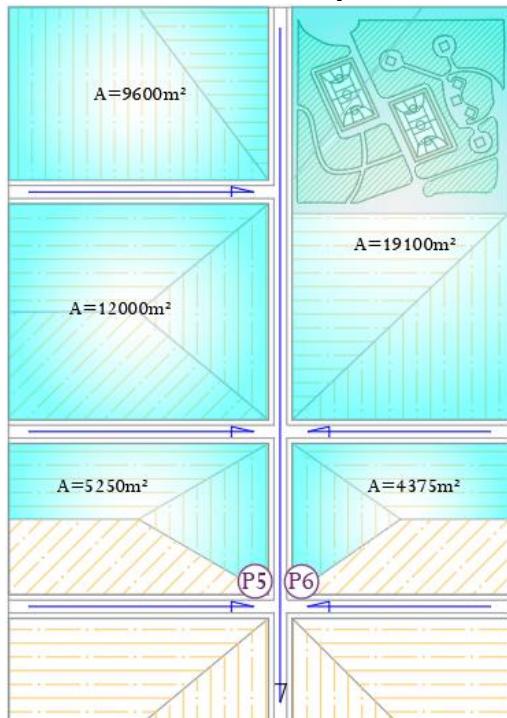


Figura 15. Área contribuyente puntos de control 5 y 6

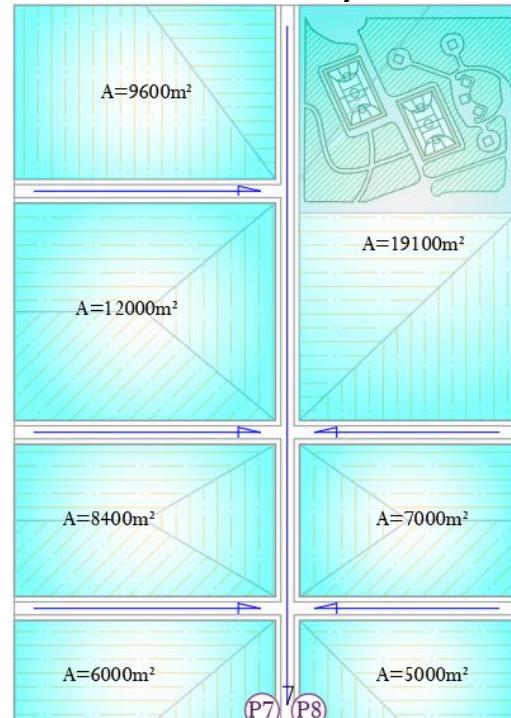


Figura 16. Área contribuyente puntos de control 7 y 8

4.1.1.9. Área total

El área total hace referencia a toda el área que drenará el caudal en cada punto, a esta área la conforma el área contribuyente por cubiertas y el área de las vías que convergen en ese mismo punto.

4.1.1.10. Caudal

Para el cálculo del caudal, en este ejercicio fue utilizado el método racional descrito en la ecuación (5), mencionada por Ven Te Chow.

$$Q = C * I * A \quad (5)$$

El resultado de los caudales para cada tramo se puede observar en la Tabla 7.

Tabla 7. Cálculo del caudal, Método Racional

Punto control	Metodo Racional												
	Tiempo de concentración (FAA de Estados Unidos)			Intensidad aguas lluvia		Coef. Escorrentia	Area				Caudal		
	Long	Δh	Tc	Tr	I		A Cubierta	A Vía	A Total	A Total	Q. Propio	Q diseño	Q diseño
	(m)	(m)	(min)	(años)	(l/s-Ha)	-	(m ²)	(m ²)	(m ²)	(ha)	(l/s)	(l/s)	(m ³ /s)
P1	82.50	1.28	5.94	5	131.31	0.87	2400	247.50	2647.50	0.26	30.22	30.22	0.0302
P2	82.50	1.28	5.94	5	131.31	0.87	2400	247.50	2647.50	0.26	30.22	30.22	0.0302
P1 - P2												60.44	0.0604
P3	111.00	3.6	5.39	5	133.40	0.87	14700	1068.00	15768.00	1.58	182.83	182.83	0.1828
P4	111.00	3.6	5.39	5	133.40	0.87	11925	333.00	12258.00	1.23	142.13	142.13	0.1421
P3	193.50	4.88	7.74	5	124.97	0.87	17100	1315.50	18415.50	1.84	200.04	200.04	0.2000
P4	193.50	4.88	7.74	5	124.97	0.87	14325	580.50	14905.50	1.49	161.91	161.91	0.1619
P3 - P4												361.95	0.3620
P5	81.00	2.12	4.95	5	135.13	0.87	9750	978	10728	1.07	126.00	126.00	0.1260
P6	81.00	2.12	4.95	5	135.13	0.87	9150	858	10008	1.00	117.55	117.55	0.1175
P5	274.50	7	9.19	5	120.32	0.87	26850	2293.50	29143.5	2.91	304.79	304.79	0.3048
P6	274.50	7	9.19	5	120.32	0.87	23475	1438.5	24913.5	2.49	260.55	260.55	0.2606
P5 - P6												565.34	0.5653
P7	58.50	2.11	3.78	5	139.91	0.87	9150	910.5	10060.5	1.01	122.34	122.34	0.1223
P8	58.50	2.11	3.78	5	139.91	0.87	7625	790.5	8415.5	0.84	102.34	102.34	0.1023
P7	333.00	9.11	9.88	5	118.20	0.87	36000	3204	39204	3.92	402.79	402.79	0.4028
P8	333.00	9.11	9.88	5	118.20	0.87	31100	2229	33329	3.33	342.43	342.43	0.3424
P7 - P8												745.21	0.7452

Fuente: Elaboración propia

4.1.2. Geometría de la vía

se tiene una vía asfáltica ($n = 0.016$) de dos carriles de 6m de ancho y un ancho de andén de 2.5m, dicha vía cuenta con una pendiente longitudinal de 2.7% y un bombeo de 2% (Figura 17).

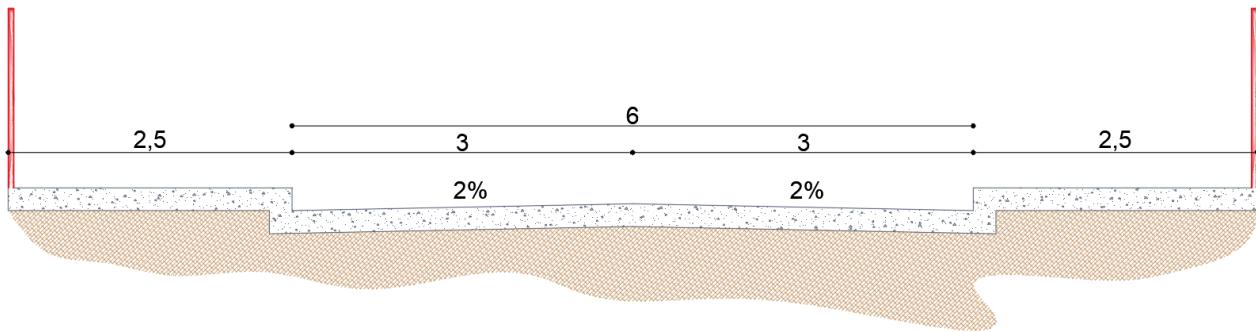


Figura 17. Sección transversal de la vía

Fuente: Elaboración propia

4.1.3. Ancho mojado (T)

El ancho de inundación de la vía se determina mediante la siguiente expresión:

$$T = \left(\frac{Q * n}{K_u * S_x^{1.67} * S_L^{0.5}} \right)^{0.375} \quad (6)$$

Donde:

K_u: 0.375

n: Coeficiente Manning pavimento: 0,016

Q: Caudal total de escorrentía (m³/s)

S_x: Pendiente transversal de la vía.

S_L: Pendiente longitudinal de la vía.

Según la Resolución 0330 del 08 de junio de 2017 el ancho de inundación permisible es el siguiente:

Tabla 8. Ancho de inundación permisible

Ancho de la vía (m)	Ancho inundación admisible (m)
<6	2
≥ 6 y <7	3
≥ 7 y <9	3,5
≥ 9	4

Fuente: Elaboración propia

Si el ancho de inundación sobrepasa el permisible se opta por un sistema de drenaje urbano, en este caso se implementarán sumideros que garanticen el correcto funcionamiento del sistema.

4.1.4. Profundidad del agua (y)

La profundidad del flujo del agua junto al andén de calcula con la siguiente expresión:

$$Y_1 = TS_X \quad (7)$$

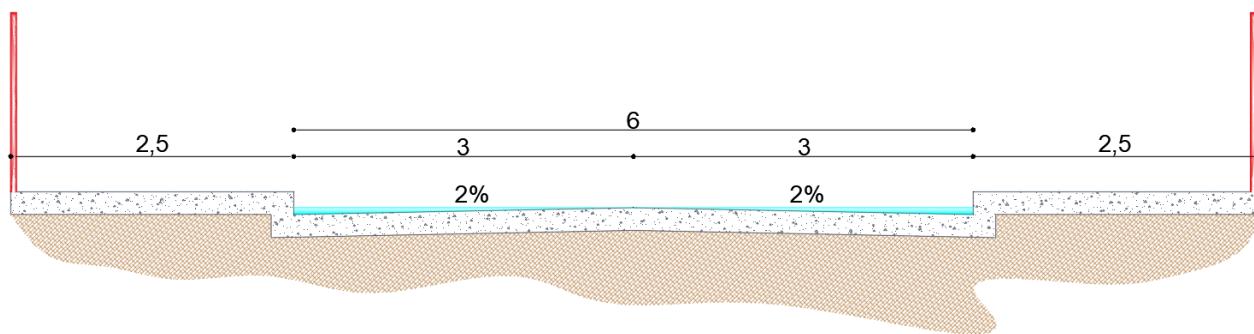


Figura 18. Profundidad del agua junto al andén

Fuente: Elaboración propia

En los puntos de control donde el ancho de inundación sobrepase los 3 metros se halla una nueva altura de profundidad de agua, ya que se excede la longitud del carril; esto se realiza realizando un despeje de la ecuación de Manning observada en la ecuación (8), en cual esta, queda en función del tirante de agua de la siguiente manera:

$$Q = \frac{AR^{\frac{2}{3}}S^{\frac{1}{2}}}{n} \quad (8)$$

$$Q = \frac{\left((B * Y_2) + (ZY_1^2) \right) * \left(\left(\frac{ZY_1}{2\sqrt{1+Z^2}} \right) + \frac{B * Y_2}{B + 2Y_2} \right)^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}}{n}$$

Donde:

B: Ancho de la vía (m)

n: Coeficiente Manning.

Q: Caudal total de escorrentía (m³/s)

S: Pendiente longitudinal de la vía (%)

Z: Talud de la sección inclinada de la vía.

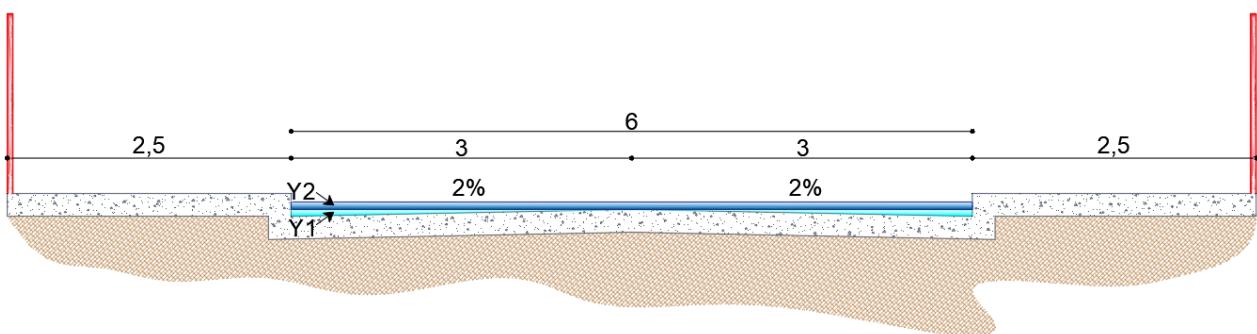


Figura 19. Profundidad del tirante de agua cuando T > 3

Fuente: Elaboración propia

Por último, el Y total en los puntos de control donde el ancho de inundación sobrepase los 3 metros se hallaron de la siguiente manera:

$$Y = Y_1 + Y_2 \quad (9)$$

Tabla 9. Geometría de la vía y parámetros hidráulicos

Punto control	Geometria de la via						Parametros Hidraulicos			
	Ancho via	Ancho carril	Pendiente via	Bombeo via	Material	n Manning	Ancho mojado	Profundidad del agua		
							T	Y1	Y2	YTotal
	(m)	(m)	(%)	(%)	-	-	(m)	(m)	(m)	(m)
P1	6.00	3.00	2.70%	2.00%	Asfalto	0.016	1.88	0.06		
P2	6.00	3.00	2.70%	2.00%	Asfalto	0.016	1.88	0.06		
P1 - P2										
P3	6.00	3.00	2.70%	2.00%	Asfalto	0.016	3.69			
P4	6.00	3.00	2.70%	2.00%	Asfalto	0.016	3.36			
P3	6.00	3.00	2.70%	2.00%	Asfalto	0.016	3.82			
P4	6.00	3.00	2.70%	2.00%	Asfalto	0.016	3.53			
P3 - P4	6.00	3.00	2.70%	2.00%		0.016		0.06	0.023	0.0831
P5	6.00	3.00	2.70%	2.00%	Asfalto	0.016	3.21			
P6	6.00	3.00	2.70%	2.00%	Asfalto	0.016	3.13			
P5 - P6	6.00	3.00	2.70%	0.00%	Asfalto	0.016		0.06	0.014	0.07
P7	6.00	3.00	2.70%	2.00%	Asfalto	0.016	3.17			
P8	6.00	3.00	2.70%	2.00%	Asfalto	0.016	2.97			
P7 - P8	6.00	3.00	2.70%	0.00%	Asfalto	0.016		0.06	0.013	0.07

Fuente: Elaboración propia

5. SISTEMAS DE CAPTACIÓN

Como puede observarse en el ítem anterior, en varios puntos la capacidad de la vía no es suficiente para mantener un buen manejo de aguas lluvias, en otras palabras, se hace indispensable el uso de sistemas de captación para garantizar un buen funcionamiento de la vía. A continuación, se presentan las diferentes metodologías para el diseño de sumideros teniendo en cuenta que estos se trabajarán con una eficiencia del 100 %.

5.1. Sumideros laterales

Los sumideros de ventana (o laterales) 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 mejora la captación de éste.

Este tipo de sumideros, 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 (Quiroga Chinza, 2016).

Las entradas de ventana o aperturas de acera son más efectivas en pendientes bajas, hundimientos y con flujos que típicamente transportan cantidades significativas de escombros flotantes; la capacidad de interceptación de las entradas de apertura de la acera disminuye a medida que se inclina el grado de la canaleta, por lo que se recomienda el uso de este tipo de sumideros en pendientes inferiores al 3%; para tener una mejor idea en cuanto a un sumidero de ventana, se observa la Figura 20, mostrada a continuación (FHWA, 2013).

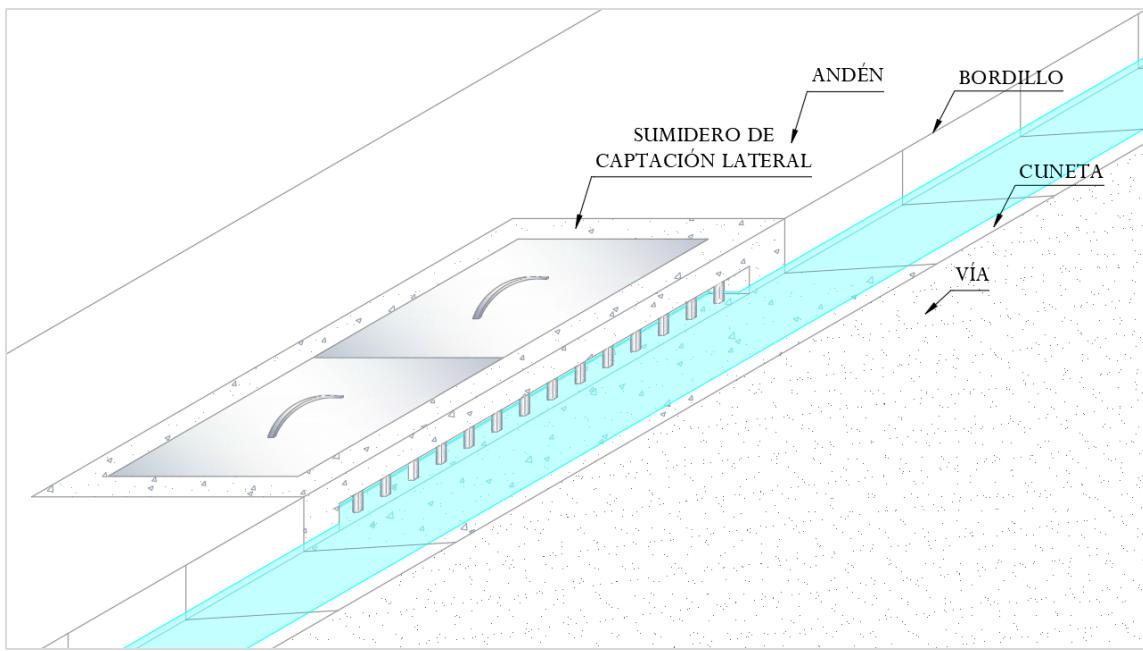


Figura 20. Sumidero de ventana

Fuente:(Epm, 2017)

En la Figura 21, Figura 22 y la Figura 23, se puede observar un esquema de la vista en planta y cortes de un sumidero de ventana tipo.

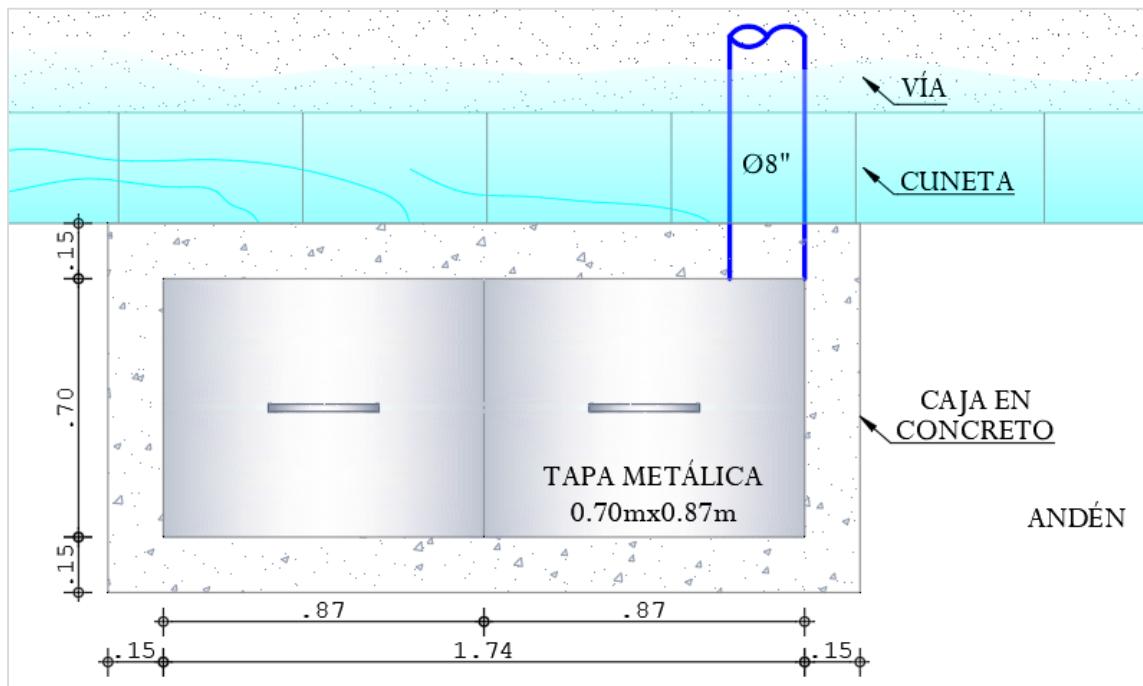


Figura 21. Vista en planta sumidero lateral

Fuente: Elaboración propia

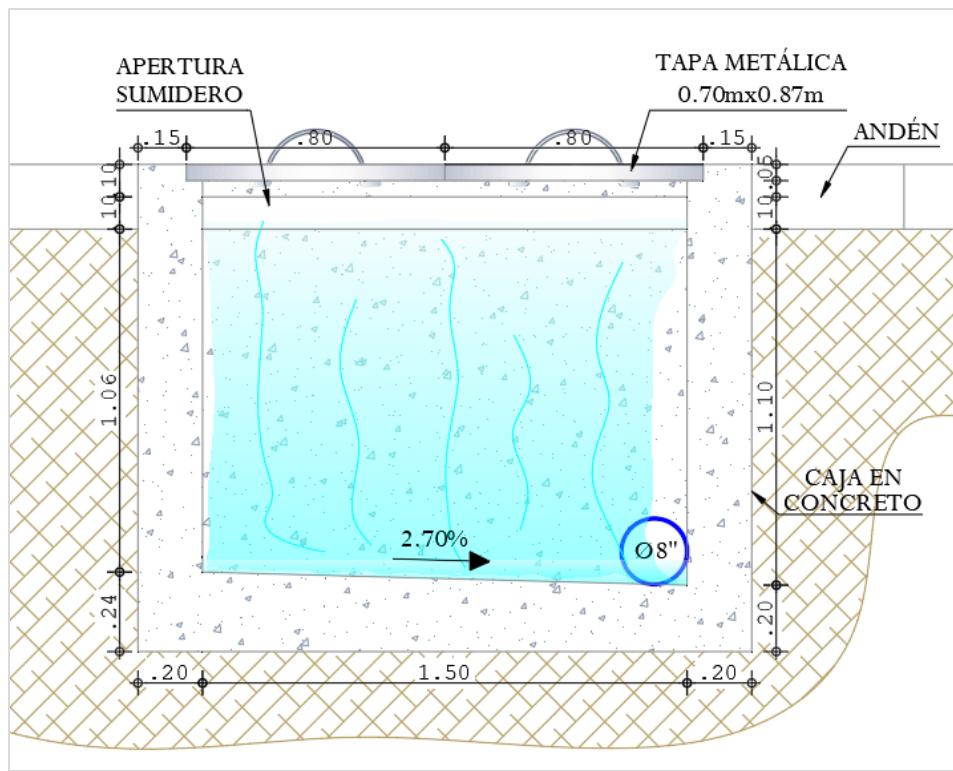


Figura 22. Sección longitudinal sumidero lateral

Fuente: Elaboración propia

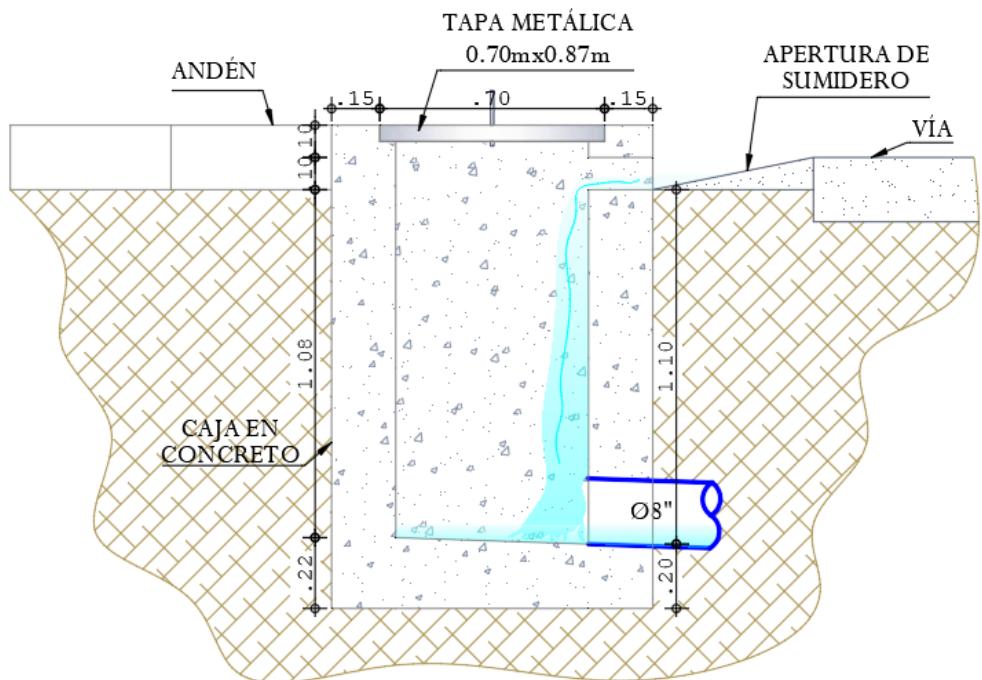


Figura 23. Sección transversal sumidero lateral

Fuente: Elaboración propia

5.1.1. Metodología FHWA 1984

Sumideros laterales sin depresión adyacente

La longitud de la entrada de la abertura de la acera requerida para la interceptación total del flujo de la canaleta en una sección de pavimento con una pendiente transversal recta se expresa mediante la ecuación (10):

$$L_T = K_u Q^{0.42} S_L^{0.3} \left(\frac{1}{n S_x} \right)^{0.6} \quad (10)$$

Donde:

- ❖ $K_u = 0.076$ (0.6 en unidades inglesas)
- ❖ L_T = Longitud de la abertura de la acera requerida para interceptar el 100% del flujo de la canaleta, m
- ❖ S_L = Pendiente longitudinal
- ❖ Q = Flujo del canal $\left(\frac{m^3}{s} \right)$

Solución

Teniendo en cuenta los caudales hallados anteriormente para cada punto de control se procede a hallar la longitud correspondiente captando el 100% del caudal que pasa

❖ Longitud total punto 3

$$L_T = 0.076 * 0.2^{0.42} 0.027^{0.3} \left(\frac{1}{0.016 * 0.02} \right)^{0.6} = 1.64 \text{ mts}$$

❖ Longitud total punto 4

$$L_T = 0.076 * 0.1619^{0.42} 0.027^{0.3} \left(\frac{1}{0.016 * 0.02} \right)^{0.6} = 1.50 \text{ mts}$$

❖ Longitud total punto 5

$$L_T = 0.076 * 0.1265^{0.42} 0.027^{0.3} \left(\frac{1}{0.016 * 0.02} \right)^{0.6} = 1.35 \text{ mts}$$

❖ **Longitud total punto 6**

$$L_T = 0.076 * 0.1175^{0.42} 0.027^{0.3} \left(\frac{1}{0.016 * 0.02} \right)^{0.6} = 1.31 \text{ mts}$$

❖ **Longitud total punto 7**

$$L_T = 0.076 * 0.1229^{0.42} 0.027^{0.3} \left(\frac{1}{0.016 * 0.02} \right)^{0.6} = 1.33 \text{ mts}$$

❖ **Longitud total punto 8**

$$L_T = 0.076 * 0.1023^{0.42} 0.027^{0.3} \left(\frac{1}{0.016 * 0.02} \right)^{0.6} = 1.23 \text{ mts}$$

Tabla 10. Dimensionamiento sumidero lateral metodología FHWA 1984

Punto control	Caudal		Altura		Dimensionamiento sumidero lateral metodología FHWA - Hydraulic Engineering						
	Q diseño (l/s)	Q diseño (m3/s)	H anden	H sumidero	Ku	Q captado (m3/s)	SL %	Sx %	n -	LT m	
			m	m	-						
P3	200.04	0.2000	0.2	0.1	0.076	0.2000	0.027	0.020	0.016	1.64	
P4	161.91	0.1619	0.2	0.1	0.076	0.1619	0.027	0.020	0.016	1.50	
P3 - P4											
P5	126.00	0.1260	0.2	0.1	0.076	0.1260	0.027	0.020	0.016	1.35	
P6	117.55	0.1175	0.2	0.1	0.076	0.1175	0.027	0.020	0.016	1.31	
P5 - P6											
P7	122.34	0.1223	0.2	0.1	0.076	0.1223	0.027	0.020	0.016	1.33	
P8	102.34	0.1023	0.2	0.1	0.076	0.1023	0.027	0.020	0.016	1.23	
P7 - P8											

Fuente: Elaboración propia

5.1.2. Metodología FHWA 2013

Estudios realizados por la (FHWA, 2013) expresan que la apertura 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 (11).

$$L_T = K_u Q^{0.42} S_L^{0.3} \left(\frac{1}{n S_x} \right)^{0.6} \quad (11)$$

Donde:

- ❖ $K_u = 0.817$ (0.6 en unidades inglesas)
- ❖ L_T = Longitud de la abertura de la acera requerida para interceptar el 100% del flujo de la canaleta, m
- ❖ S_L = Pendiente longitudinal
- ❖ Q = Flujo del canal $\left(\frac{m^3}{s}\right)$

Solución

Comparado con la metodología de la FHWA de 1984 el K_u varia y se procede a hallar las longitudes por cada punto de control que necesita sistemas de captación de aguas lluvias.

❖ Longitud total punto 3

$$L_T = 0.817 * 0.2^{0.42} 0.027^{0.3} \left(\frac{1}{0.016 * 0.02}\right)^{0.6} = 17.58 \text{ mts}$$

❖ Longitud total punto 4

$$L_T = 0.817 * 0.1619^{0.42} 0.027^{0.3} \left(\frac{1}{0.016 * 0.02}\right)^{0.6} = 16.09 \text{ mts}$$

❖ Longitud total punto 5

$$L_T = 0.817 * 0.126^{0.42} 0.027^{0.3} \left(\frac{1}{0.016 * 0.02}\right)^{0.6} = 14.48 \text{ mts}$$

❖ Longitud total punto 6

$$L_T = 0.817 * 0.1175^{0.42} 0.027^{0.3} \left(\frac{1}{0.016 * 0.02}\right)^{0.6} = 14.06 \text{ mts}$$

❖ Longitud total punto 7

$$L_T = 0.817 * 0.1223^{0.42} 0.027^{0.3} \left(\frac{1}{0.016 * 0.02}\right)^{0.6} = 14.30 \text{ mts}$$

❖ Longitud total punto 8

$$L_T = 0.817 * 0.1023^{0.42} 0.027^{0.3} \left(\frac{1}{0.016 * 0.02}\right)^{0.6} = 13.27 \text{ mts}$$

Tabla 11. Dimensionamiento sumidero lateral metodología FHWA 2013

Punto control	Caudal			Altura		Dimensionamiento sumidero lateral metodología FHWA - Hydraulic Engineering					
	Q diseño (l/s)	Q diseño (m3/s)	Q ant (m3/s)	H anden m	H sumidero m	Ku	Q captado (m3/s)	SL %	Sx %	n -	LT m
						-					
P3	200.04	0.2000		0.2	0.1	0.817	0.2000	0.027	0.020	0.016	17.58
P4	161.91	0.1619		0.2	0.1	0.817	0.1619	0.027	0.020	0.016	16.09
P3 - P4											
P5	126.00	0.1260	0.0000	0.2	0.1	0.817	0.1260	0.027	0.020	0.016	14.48
P6	117.55	0.1175	0.0000	0.2	0.1	0.817	0.1175	0.027	0.020	0.016	14.06
P5 - P6											
P7	122.34	0.1223	0.0000	0.2	0.1	0.817	0.1223	0.027	0.020	0.016	14.30
P8	102.34	0.1023	0.0000	0.2	0.1	0.817	0.1023	0.027	0.020	0.016	13.27
P7 - P8											

Fuente: Elaboración propia

5.1.3. Metodología de Comport & Thorton

Para la comprobación de esta metodología se realizaron experimentos adicionales, para sumideros de bordillo, encontrando discrepancias significativas en el método aplicado por la FHWA, por lo que proponen la ecuación (12) para determinar la longitud total necesaria para captar todo el caudal que circula por la vía, donde se tiene que la constante $K_T=0,493$, y las demás variables cuentan con el mismo significado mencionado anteriormente.

$$L_T = K_T Q^{0.62} S_L^{-0.021} \left(\frac{1}{n S_x} \right)^{0.49} \quad (12)$$

Solución:

Como todos los valores de la ecuación son conocidos se procede a hallar la longitud en cada punto de control:

❖ Longitud total punto 3

$$L_T = 0.493 * 0.2^{0.62} 0.027^{-0.021} \left(\frac{1}{0.016 * 0.02} \right)^{0.49} = 10.11 \text{ mts}$$

❖ **Longitud total punto 4**

$$L_T = 0.493 * 0.1619^{0.62} 0.027^{-0.021} \left(\frac{1}{0.016 * 0.02} \right)^{0.49} = 8.87 \text{ mts}$$

❖ **Longitud total punto 5**

$$L_T = 0.493 * 0.126^{0.62} 0.027^{-0.021} \left(\frac{1}{0.016 * 0.02} \right)^{0.49} = 7.59 \text{ mts}$$

❖ **Longitud total punto 6**

$$L_T = 0.493 * 0.1175^{0.62} 0.027^{-0.021} \left(\frac{1}{0.016 * 0.02} \right)^{0.49} = 7.27 \text{ mts}$$

❖ **Longitud total punto 7**

$$L_T = 0.493 * 0.1223^{0.62} 0.027^{-0.021} \left(\frac{1}{0.016 * 0.02} \right)^{0.49} = 7.46 \text{ mts}$$

❖ **Longitud total punto 8**

$$L_T = 0.493 * 0.1023^{0.62} 0.027^{-0.021} \left(\frac{1}{0.016 * 0.02} \right)^{0.49} = 6.68 \text{ mts}$$

Tabla 12. Dimensionamiento sumidero lateral metodología Comport & Thornton

Punto control	Caudal			Altura		Dimensionamiento sumidero lateral metodología Comport & Thornton					
	Q diseño	Q diseño	Q ant	H anden	H sumidero	Kt	Q captado	SL	Sx	n	LT
	(l/s)	(m3/s)	(m3/s)	m	m	-	(m3/s)	%	%	-	m
P3	200.04	0.2000		0.2	0.1	0.493	0.2000	2.70%	2.00%	0.016	10.11
P4	161.91	0.1619		0.2	0.1	0.493	0.1619	2.70%	2.00%	0.016	8.87
P3 - P4											
P5	126.00	0.1260	0.0000	0.2	0.1	0.493	0.1260	2.70%	2.00%	0.016	7.59
P6	117.55	0.1175	0.0000	0.2	0.1	0.493	0.1175	2.70%	2.00%	0.016	7.27
P5 - P6											
P7	122.34	0.1223	0.0000	0.2	0.1	0.493	0.1223	2.70%	2.00%	0.016	7.46
P8	102.34	0.1023	0.0000	0.2	0.1	0.493	0.1023	2.70%	2.00%	0.016	6.68
P7 - P8											

Fuente: Elaboración propia

5.1.4. Metodología Materón

(Materón, 1997) menciona que un sumidero lateral sin depresión funciona como un vertedero lateral, por lo que se tiene la metodología de Francy, observada en la ecuación (13).

$$Q = 1.84 * L_e * H^{\frac{3}{2}} \quad (13)$$

Donde:

- ❖ **Q** = Caudal a captar por la captación lateral, $(\frac{m^3}{s})$
- ❖ **L** = Longitud efectiva de la captación lateral, (m)
- ❖ **H** = Altura de la lámina de agua, (m)

Además, menciona que teniendo en cuenta que la toma es lateral, la velocidad es casi nula, por lo que no es considerada la carga de velocidad.

Solución

Para hallar la longitud en esta metodología se deja la formula en función de la longitud para una eficiencia del 100%.

❖ Longitud total punto 3

$$0.2 = 1.84 * L_e * 0.08^{\frac{3}{2}} = 4.54 \text{ mts}$$

❖ Longitud total punto 4

$$0.1619 = 1.84 * L_e * 0.08^{\frac{3}{2}} = 3.67 \text{ mts}$$

❖ Longitud total punto 5

$$0.1260 = 1.84 * L_e * 0.07^{\frac{3}{2}} = 3.37 \text{ mts}$$

❖ Longitud total punto 6

$$0.1175 = 1.84 * L_e * 0.07^{\frac{3}{2}} = 3.15 \text{ mts}$$

❖ **Longitud total punto 7**

$$0.1223 = 1.84 * L_e * 0.07^3 = 3.37 \text{ mts}$$

❖ **Longitud total punto 7**

$$0.1023 = 1.84 * L_e * 0.07^2 = 2.82 \text{ mts}$$

Tabla 13. Dimensionamiento sumidero lateral metodología Materón

Punto control	Caudal			Profundidad del agua			Long
	Q diseño	Q diseño	Qcaptado	Y1	Y2	YTotal	
	(l/s)	(m3/s)	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	
P3	200.04	0.2000	0.2000	0.06	0.023	0.08	4.54
P4	161.91	0.1619	0.1619	0.06	0.023	0.08	3.67
P3 - P4							
P5	126.00	0.1260	0.1260	0.06	0.014	0.07	3.37
P6	117.55	0.1175	0.1175	0.06	0.014	0.07	3.15
P5 - P6							
P7	122.34	0.1223	0.1223	0.06	0.013	0.07	3.37
P8	102.34	0.1023	0.1023	0.06	0.013	0.07	2.82
P7 - P8							

Fuente: Elaboración propia

5.1.5. Reglamento técnico de diseño de sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial. República de Bolivia. (Norma Boliviana)

Según, la (Norma Boliviana, 2007) La capacidad de sumideros de ventana ubicados en puntos bajos, se determinan en otras condiciones ya que su comportamiento hidráulico difiere de los ubicados en vías con pendiente. Si para el caudal de proyecto y las dimensiones de la abertura prevalece un régimen con superficie libre, la estructura opera como un vertedero de cresta ancha. Sin embargo, cuando la carga del agua llega a ser mayor que la altura de la ventana, el sumidero se comportara como un orificio.

Entonces, siendo:

- ❖ **H**= Altura en el cordón (y_o + depresión) (m).
- ❖ **Y**= Altura máxima del agua a la salida de la cuneta (m)
- ❖ **L**= Longitud de la abertura (m)
- ❖ **Q**= Caudal del proyecto, en $\left(\frac{m^3}{s}\right)$

Se tiene que:

- a) Para cargas correspondientes a “ $y \leq h$ ”, el funcionamiento es como un vertedero y se dimensiona a través de la siguiente ecuación (14).

$$\frac{Q}{L} = 1,703 * \sqrt{y^3} \quad (14)$$

- b) Para cargas donde “ $y \geq h$ ”, el comportamiento de la entrada es de orificio, por lo que se dimensiona por medio de la ecuación (15).

$$\frac{Q}{L} = 3,101 * h \sqrt{y - 0.5 * h} \quad (15)$$

Solución

Para el desarrollo de esta norma se debe tener en cuenta la altura del andén que es de 0,2 metros, la cual es mayor las láminas de agua calculadas anteriormente, por lo que el funcionamiento del sumidero será como vertedero, por lo que se manejará la ecuación en función de L para hallar la longitud que tenga una eficiencia del 100%.

- ❖ **Longitud total punto 3**

$$\frac{0.2}{L} = 1,703 * \sqrt{0.08^3} = 4.91 \text{ mts}$$

- ❖ **Longitud total punto 4**

$$\frac{0.1619}{L} = 1,703 * \sqrt{0.08^3} = 3.97 \text{ mts}$$

- ❖ **Longitud total punto 5**

$$\frac{0.1265}{L} = 1,703 * \sqrt{0.07^3} = 3.64 \text{ mts}$$

❖ **Longitud total punto 6**

$$\frac{0.1175}{L} = 1,703 * \sqrt{0.07^3} = 3.40 \text{ mts}$$

❖ **Longitud total punto 7**

$$\frac{0.1229}{L} = 1,703 * \sqrt{0.07^3} = 3.65 \text{ mts}$$

❖ **Longitud total punto 8**

$$\frac{0.1023}{L} = 1,703 * \sqrt{0.07^3} = 3.05 \text{ mts}$$

Tabla 14. Dimensionamiento sumidero lateral metodología Norma Boliviana

Punto control	Caudal			Profundidad del agua	Long
	Q diseño	Q diseño	Q captado		
	(l/s)	(m3/s)	(m3/s)		
P3	200.04	0.2000	0.2000	0.08	4.91
P4	161.91	0.1619	0.1619	0.08	3.97
P3 - P4					
P5	126.00	0.1260	0.1260	0.07	3.64
P6	117.55	0.1175	0.1175	0.07	3.40
P5 - P6					
P7	122.34	0.1223	0.1223	0.07	3.65
P8	102.34	0.1023	0.1023	0.07	3.05
P7 - P8					

Fuente: Elaboración propia

5.1.6. Metodología de Wen Hsiung-Li

Para sumideros colectores estándares con dimensiones en función de la depresión "a" conforme a lo mostrado en la Figura 24, se utiliza la ecuación (16).

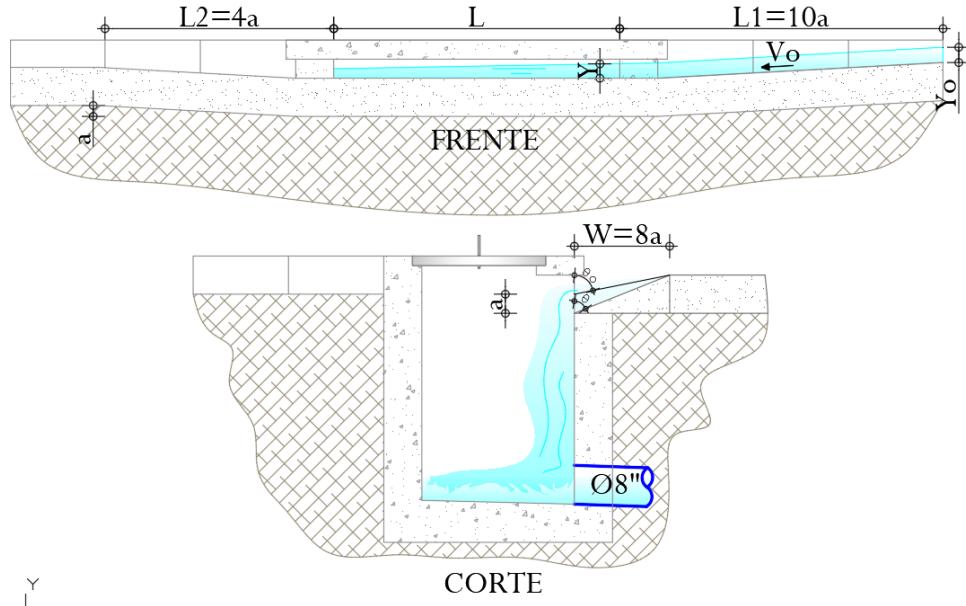


Figura 24. Sumidero lateral con depresión "a"

Fuente: (Ministerio del Agua Viceministerio de Servicios Básicos, 2007)

$$\frac{Q}{L} = (K + C) * \left(\sqrt{y^3 * g} \right) \quad (16)$$

Donde:

- ❖ **C**= Coeficiente de descarga, 0.75.
- ❖ **K**= 0.23.
- ❖ **L**= Longitud de la abertura (m).
- ❖ **Q**= Caudal del proyecto $\left(\frac{m^3}{s} \right)$.
- ❖ **Y**= Altura lámina de agua (m).

Solución

Para el desarrollo de esta metodología se deja la ecuación expresada en términos de L, con una eficiencia del 100% de captación.

- ❖ **Longitud total punto 3**

$$\frac{0.2}{L} = (0.23 + 0.75) * \left(\sqrt{0.08^3 * 9.81} \right) \quad L = 2.72 \text{ mts}$$

❖ **Longitud total punto 4**

$$\frac{0.1619}{L} = (0.23 + 0.75) * \left(\sqrt{0.08^3 * 9.81} \right) \quad L = 2.20 \text{ mts}$$

❖ **Longitud total punto 5**

$$\frac{0.1265}{L} = (0.23 + 0.75) * \left(\sqrt{0.07^3 * 9.81} \right) \quad L = 2.02 \text{ mts}$$

❖ **Longitud total punto 6**

$$\frac{0.1175}{L} = (0.23 + 0.75) * \left(\sqrt{0.07^3 * 9.81} \right) \quad L = 1.89 \text{ mts}$$

❖ **Longitud total punto 7**

$$\frac{0.1229}{L} = (0.23 + 0.75) * \left(\sqrt{0.07^3 * 9.81} \right) \quad L = 2.02 \text{ mts}$$

❖ **Longitud total punto 8**

$$\frac{0.1023}{L} = (0.23 + 0.75) * \left(\sqrt{0.07^3 * 9.81} \right) \quad L = 1.69 \text{ mts}$$

Tabla 15. Dimensionamiento sumidero lateral metodología Wen Hsiung Li

Punto control	Caudal		Metodología Hsiung-Li			
	Q diseño	Q diseño	Y	C	K	L
	(l/s)	(m3/s)	(m)	(-)	(-)	(m)
P3	200.04	0.2000	0.08	0.75	0.23	2.72
P4	161.91	0.1619	0.08	0.75	0.23	2.20
P3 - P4						
P5	126.00	0.1260	0.07	0.75	0.23	2.02
P6	117.55	0.1175	0.07	0.75	0.23	1.89
P5 - P6						
P7	122.34	0.1223	0.07	0.75	0.23	2.02
P8	102.34	0.1023	0.07	0.75	0.23	1.69
P7 - P8						

Fuente: Elaboración propia

5.1.7. Metodología de Johns Hopkins University

Esta metodología está basada en la capacidad de captación (Q_i) de un sumidero lateral sin depresión (Johns Hopkins University, 1956), la cual se puede expresar mediante la ecuación (17).

$$K + C = \frac{Q_1}{Ly_A \sqrt{gy_A}} \quad (17)$$

Donde K solo depende de la pendiente transversal de la calzada, correspondiéndose con 8%, 4% y 2%, valores de Kv de 0.23, 0.20 y 0.20 respectivamente y C, el coeficiente de descarga que corresponde a 0.75 (Batista Delgado & González González, 2018).

Solución

Aplicando la metodología para cada uno de los puntos de control y para una eficiencia de 100% se tiene que:

❖ Longitud total punto 3

$$0.2 + 0.75 = \frac{0.2}{L * 0.08 \sqrt{9.81 * 0.08}} \quad L = 2.81 \text{ mts}$$

❖ Longitud total punto 4

$$0.2 + 0.75 = \frac{0.1619}{L * 0.08 \sqrt{9.81 * 0.08}} \quad L = 2.27 \text{ mts}$$

❖ Longitud total punto 5

$$0.2 + 0.75 = \frac{0.1260}{L * 0.07 \sqrt{9.81 * 0.07}} \quad L = 2.09 \text{ mts}$$

❖ Longitud total punto 6

$$0.2 + 0.75 = \frac{0.1175}{L * 0.07 \sqrt{9.81 * 0.07}} \quad L = 1.95 \text{ mts}$$

❖ Longitud total punto 7

$$0.2 + 0.75 = \frac{0.1223}{L * 0.07 \sqrt{9.81 * 0.07}} \quad L = 2.09 \text{ mts}$$

❖ Longitud total punto 3

$$0.2 + 0.75 = \frac{0.1023}{L * 0.07 \sqrt{9.81 * 0.07}} \quad L = 1.75 \text{ mts}$$

Tabla 16. Dimensionamiento sumidero lateral metodología Johns Hopkins

Punto control	Caudal		Metodología Johns Hopkins			
	Q diseño	Q diseño	y	C	K	L
	(l/s)	(m3/s)	(m)	(-)	(-)	(m)
P3	200.04	0.2000	0.08	0.75	0.20	2.81
P4	161.91	0.1619	0.08	0.75	0.20	2.27
P3 - P4						
P5	126.00	0.1260	0.07	0.75	0.20	2.09
P6	117.55	0.1175	0.07	0.75	0.20	1.95
P5 - P6						
P7	122.34	0.1223	0.07	0.75	0.20	2.09
P8	102.34	0.1023	0.07	0.75	0.20	1.75
P7 - P8						

Fuente: Elaboración propia

5.2. Sumideros de rejilla

Consiste en una abertura en la canaleta o zanja cubierta por una rejilla, se desempeña satisfactoriamente en una amplia gama de grados de canalones; Las entradas de rejilla generalmente pierden capacidad con el aumento de la pendiente, pero en menor grado que las entradas de apertura de la acera. La principal ventaja de las entradas de rejilla es que están instaladas a lo largo de la carretera donde fluye el agua, por lo que se facilita su entrada, pero así mismo pueden obstruirse por basura flotante o escombros (FHWA, 2013).

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 (Ramos Soberanis, 2004)

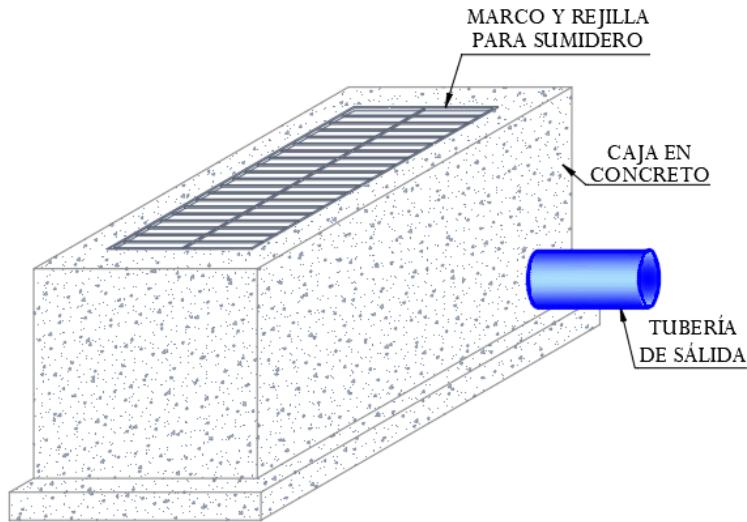


Figura 25. Sumidero de rejilla

Fuente: (Epm, 2017)

El caudal de ese tipo de sumidero puede considerarse como flujo especialmente variado con descarga en el fondo (Bolinaga I. & Franceschi A., 1979); Sin embargo, la compleja configuración del movimiento, la dificultad de una cuantificación precisa del coeficiente de descarga del fondo, y la gran cantidad de formas y pletinas que se utilizan desalientan cualquier intento de desarrollar un procedimiento general con este tipo de estructuras.

Estos sumideros consisten en una abertura con rejilla colocada sobre el piso de la cuneta de la vía, adyacente al bordillo o borde del andén (ver Figura 26), en el que la rejilla debe quedar entre 0.01 m – 0.02 m por debajo de la rasante de la vía y ya sea tipo A o B, debe cumplir con los requisitos estipulados en la Especificación Técnica (Empresas Públicas de Medellín E.S.P. (EPM), 2013).

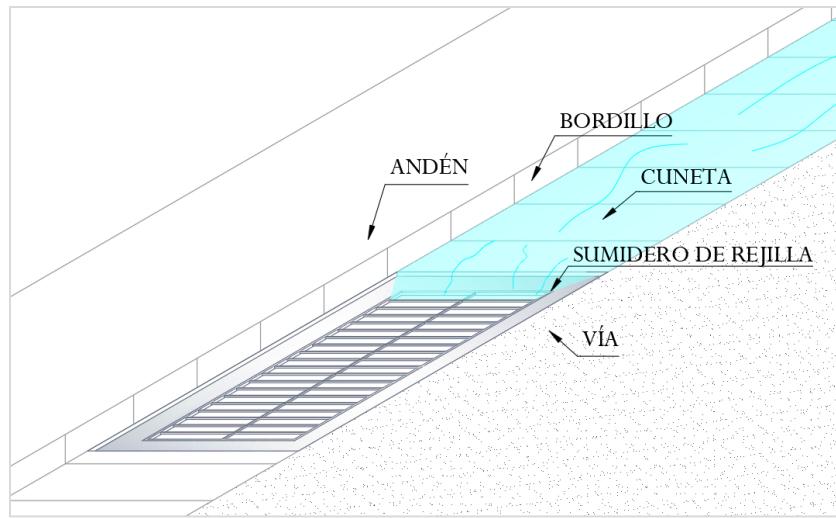


Figura 26. Sumidero de rejilla – Ubicación

Fuente: (Epm, 2017)

En la Figura 27, Figura 28 y la

Figura 29, se presentan un esquema de la vista en planta y cortes transversal y longitudinal que componen un sumidero de rejilla tipo.

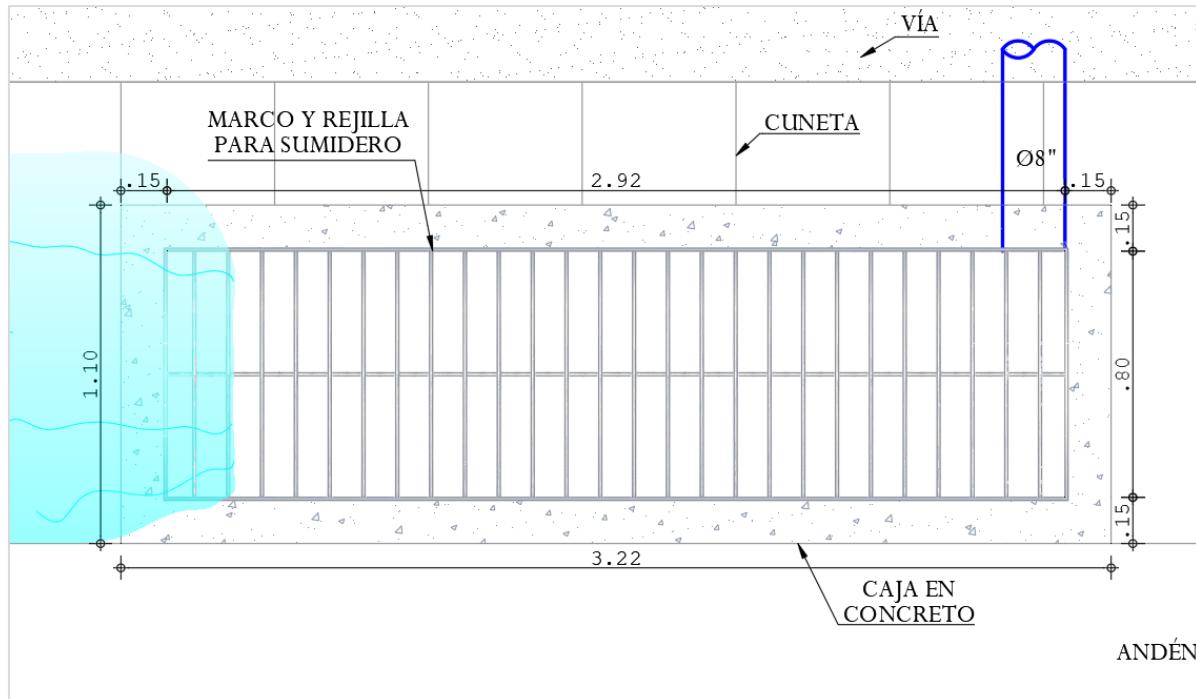


Figura 27. Vista en planta sumidero de rejilla

Fuente: Elaboración propia

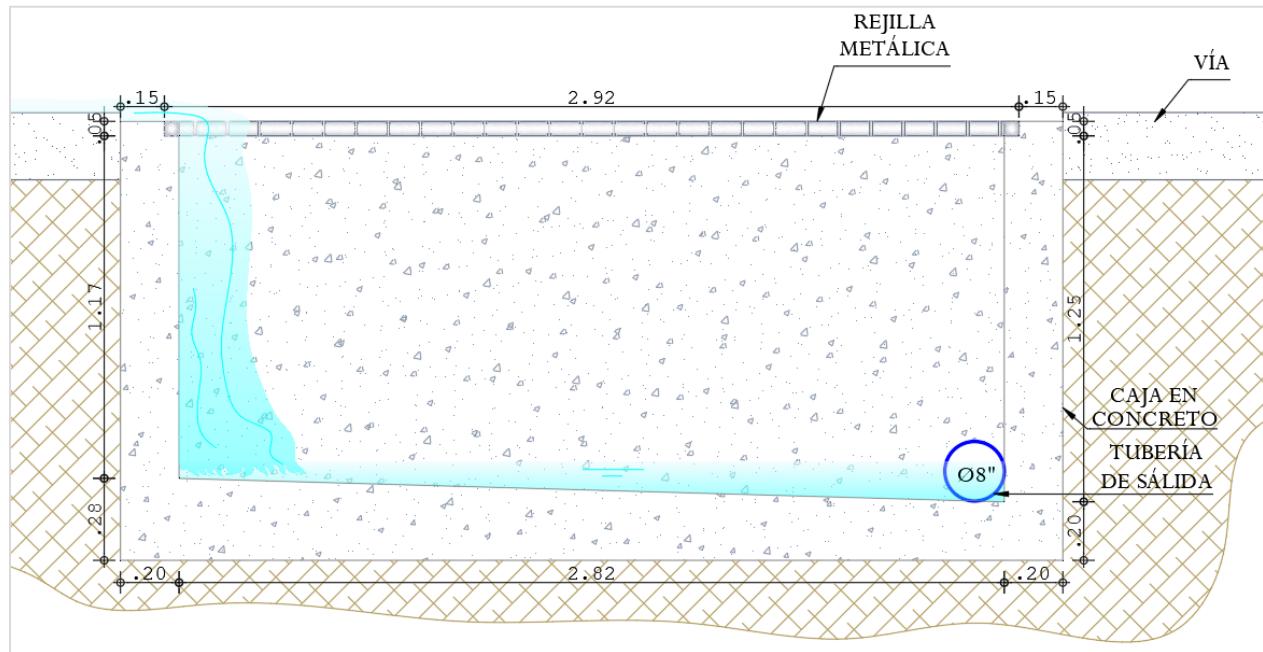


Figura 28. Sección longitudinal sumidero de rejilla

Fuente: Elaboración propia

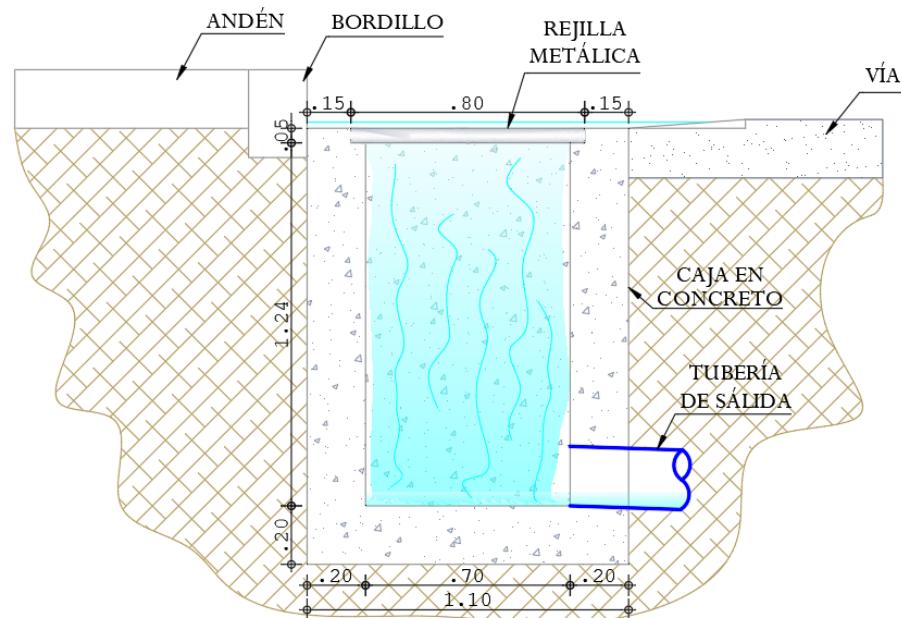


Figura 29. Sección transversal sumidero de rejilla

Fuente: Elaboración propia

5.2.1. Metodología de Wen-Hsioung-Li

Estudios realizados por el Prof. Wen-Hsiung-Li, para sumideros de rejilla sin depresión de la universidad Johns Hopkins, Baltimore, U.S.A, indicaron para el cálculo de las dimensiones del sumidero, la ecuación (18), teniendo en cuenta las variables mostradas en la Figura 30.

$$L = 0,326 * \left(\frac{Z}{n} * I^2 \right)^{\frac{3}{4}} * \left(\frac{Q_o^{\frac{1}{2}} * (w_o - w)}{z} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (18)$$

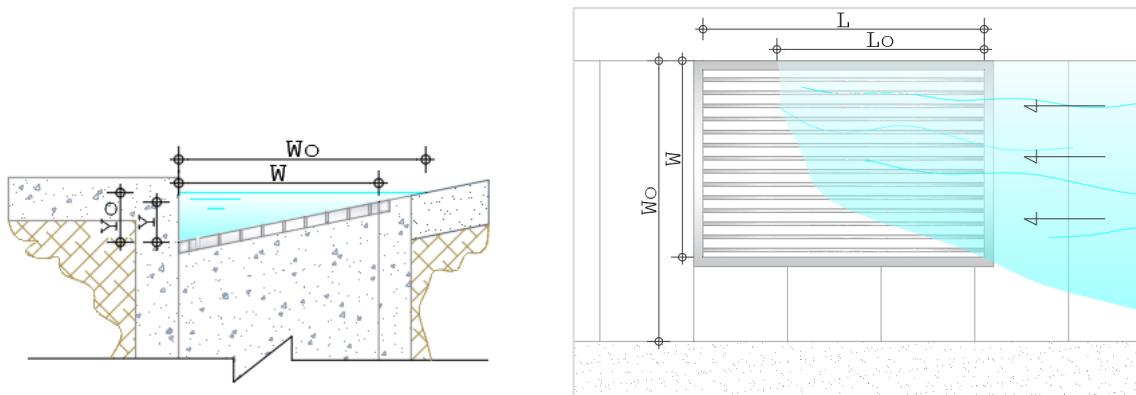


Figura 30. Sumidero de calle con rejillas sin depresión

Fuente: (Norma Boliviana, 2007)

Donde:

- ❖ **L**= Longitud total de la rejilla, (m).
- ❖ **Z**= Inverso de la pendiente transversal (-).
- ❖ **I**= pendiente longitudinal, en (m/m).
- ❖ **n**= Coeficiente de rugosidad de Manning.
- ❖ **Q_o**= Caudal de proyecto, en $\left(\frac{m^3}{s} \right)$.
- ❖ **W_o**= Ancho del espejo de agua en la cuneta (m).
- ❖ **W**= Ancho horizontal de la rejilla (m).

Solución

Para la realización de esta metodología se tiene en cuenta que la rejilla va a captar el 100% del caudal y va a tener de ancho 0.7 metros

❖ **Longitud total punto 3**

$$L = 0,326 * \left(\frac{50}{0,016} * 0,027^{\frac{1}{2}} \right)^{\frac{3}{4}} * \left(\frac{0,2^{\frac{1}{2}} * (3 - 0,8)}{50} \right)^{\frac{1}{2}} = 13,51 \text{ mts}$$

❖ **Longitud total punto 4**

$$L = 0,326 * \left(\frac{50}{0,016} * 0,027^{\frac{1}{2}} \right)^{\frac{3}{4}} * \left(\frac{0,1619^{\frac{1}{2}} * (3 - 0,8)}{50} \right)^{\frac{1}{2}} = 10,93 \text{ mts}$$

❖ **Longitud total punto 5**

$$L = 0,326 * \left(\frac{50}{0,016} * 0,027^{\frac{1}{2}} \right)^{\frac{3}{4}} * \left(\frac{0,1260^{\frac{1}{2}} * (3 - 0,8)}{50} \right)^{\frac{1}{2}} = 8,51 \text{ mts}$$

❖ **Longitud total punto 6**

$$L = 0,326 * \left(\frac{50}{0,016} * 0,027^{\frac{1}{2}} \right)^{\frac{3}{4}} * \left(\frac{0,1175^{\frac{1}{2}} * (3 - 0,8)}{50} \right)^{\frac{1}{2}} = 7,94 \text{ mts}$$

❖ **Longitud total punto 7**

$$L = 0,326 * \left(\frac{50}{0,016} * 0,027^{\frac{1}{2}} \right)^{\frac{3}{4}} * \left(\frac{0,1223^{\frac{1}{2}} * (3 - 0,8)}{50} \right)^{\frac{1}{2}} = 8,26 \text{ mts}$$

❖ **Longitud total punto 8**

$$L = 0,326 * \left(\frac{50}{0,016} * 0,027^{\frac{1}{2}} \right)^{\frac{3}{4}} * \left(\frac{0,1023^{\frac{1}{2}} * (3 - 0,8)}{50} \right)^{\frac{1}{2}} = 6,91 \text{ mts}$$

Tabla 17. Dimensionamiento sumidero de rejilla Metodología Wen Hsiung Li

Punto control	Caudal		Dimensionamiento sumidero lateral metodología Wen-Hsioung-Li						
	Q diseño (l/s)	Q diseño (m ³ /s)	SL	Sx	n	z	w ₀ (m)	w (m)	L (m)
	%	%	-	-	(m)	(m)	(m)	(m)	
P3	200.04	0.2000	2.70%	2.00%	0.016	50	3.00	0.8	13.51
P4	161.91	0.1619	2.70%	2.00%	0.016	50	3.00	0.8	10.93
P3 - P4									
P5	126.00	0.1260	2.70%	2.00%	0.016	50	3.00	0.8	8.51
P6	117.55	0.1175	2.70%	2.00%	0.016	50	3.00	0.8	7.94
P5 - P6									
P7	122.34	0.1223	2.70%	2.00%	0.016	50	3.00	0.8	8.26
P8	102.34	0.1023	2.70%	2.00%	0.016	50	3.00	0.8	6.91
P7 - P8									

Fuente: Elaboración propia

5.2.2. Norma Boliviana 2007

Como se indicó en la (Norma Boliviana, 2007) para sumideros con depresión, el agua que fluye por la vía es interceptada mediante una reja con pletinas metálicas separadas, por una distancia suficiente para realizar la máxima captación de la escorrentía, sin que sea un obstáculo para el tráfico. Hidráulicamente el flujo puede asimilarse con un flujo variado con descarga de fondo.

La ubicación de un sumidero de reja en un punto bajo de la calzada, se puede tomar como la descarga por un orificio, teniendo en cuenta su capacidad de área del orificio y de la profundidad o carga de agua sobre la reja.

Entonces:

- ❖ **Q**= Caudal de proyecto a ser captada, en $(\frac{m^3}{s})$.
- ❖ **P**= Perímetro del área con abertura (m).
- ❖ **A**= Área total de las aberturas (m²)
- ❖ **Y**= Altura del agua sobre la reja (m)
- ❖ **E**= Espaciamiento entre las barras consecutivas (máximo 2,5 cm)

Para cargas hasta 12 cm, se toma como rejilla por vertedero, ecuación (19).

$$\frac{Q}{P} = 1,655 * \sqrt{y^3} \quad (19)$$

Para cargas iguales o superiores a 42 cm se trabaja como rejilla como orificio, ecuación (20).

$$\frac{Q}{A} = 2,91 * \sqrt{y} \quad (20)$$

Donde, para ambos casos se debe tomar un coeficiente de seguridad igual a 2.9, o sea, una holgura sobre la capacidad teórica una vez más.

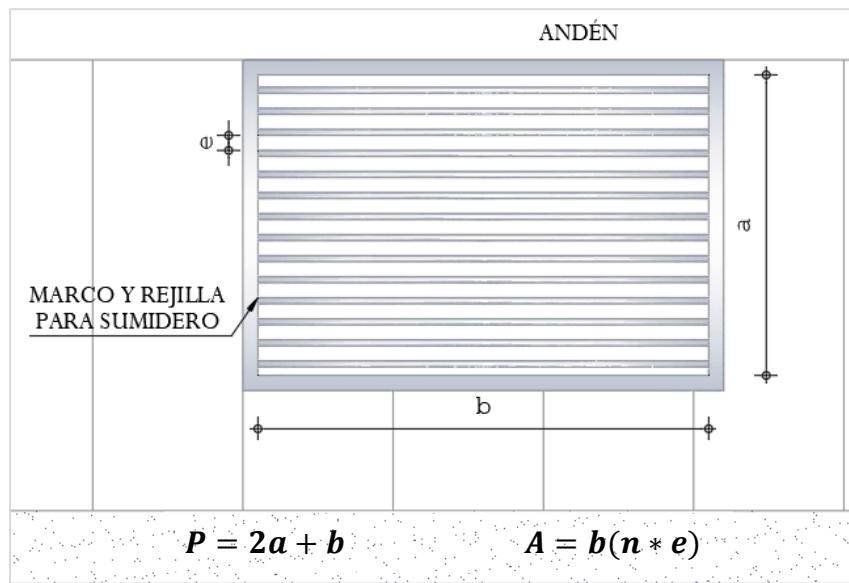


Figura 31. Perímetro y área de un sumidero con rejillas

Fuente: (Norma Boliviana, 2007)

Solución

En esta metodología la reja funcionará como orificio y se trabajará con el perímetro de la reja mostrado en la Figura 31, dejando la ecuación en función de (b) que es la longitud real de la rejilla para captar el 100% del caudal.

❖ **Longitud total punto 3**

$$\frac{0.2}{(2 * 0.8) + L} = 1,655 * \sqrt{0.08^3} = 3.45 \text{ mts}$$

❖ **Longitud total punto 4**

$$\frac{0.1619}{(2 * 0.8) + L} = 1,655 * \sqrt{0.08^3} = 2.49 \text{ mts}$$

❖ **Longitud total punto 5**

$$\frac{0.1260}{(2 * 0.8) + L} = 1,655 * \sqrt{0.07^3} = 2.15 \text{ mts}$$

❖ **Longitud total punto 6**

$$\frac{0.1175}{(2 * 0.8) + L} = 1,655 * \sqrt{0.07^3} = 1.90 \text{ mts}$$

❖ **Longitud total punto 7**

$$\frac{0.1223}{(2 * 0.8) + L} = 1,655 * \sqrt{0.07^3} = 2.15 \text{ mts}$$

❖ **Longitud total punto 8**

$$\frac{0.1023}{(2 * 0.8) + L} = 1,655 * \sqrt{0.07^3} = 1.54 \text{ mts}$$

Tabla 18. Dimensionamiento sumidero de rejilla metodología Norma Boliviana 2007

Punto control	Caudal		Altura lamina	Perímetro del área		Longitud
	Q diseño	Q diseño		a	b	
	(l/s)	(m3/s)	y	(m)	(m)	(m)
P3	200.04	0.2000	0.08	0.8	3.45	3.45
P4	161.91	0.1619	0.08	0.8	2.49	2.49
P3 - P4						
P5	126.00	0.1260	0.07	0.8	2.15	2.15
P6	117.55	0.1175	0.07	0.8	1.90	1.90
P5 - P6						
P7	122.34	0.1223	0.07	0.8	2.15	2.15
P8	102.34	0.1023	0.07	0.8	1.54	1.54
P7 - P8						

Fuente: Elaboración propia

5.2.3. Metodología del caudal captado como vertedero

Cuando el agua que se aproxima a un sumidero no logra sumergir la rejilla o vierte directamente en el primer espacio vacío, se considera que sucede una descarga tipo vertedero, aproximándolo al vertedero de sección rectangular, para el cual se usa comúnmente la ecuación (21).

$$Q = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g} L E^2 \quad (21)$$

Donde C_d es el coeficiente de descarga (tipo vertedero), es cual debido a la complejidad de su cálculo por la poca o nula existencia de datos experimentales específicos para estos elementos, es recomendable tomar valores entre 1.70-3.20 para vertederos (Aragón Hernández, 2013); L es la longitud efectiva del vertedero, E es la energía específica del flujo de aproximación y Q es el caudal captado por este mecanismo.

Solución

Para la realización de esta metodología se debe tener en cuenta los parámetros de velocidad, área mojada y energía específica descritos en la ecuación (22), ecuación (23) y la ecuación (24) respectivamente.

$$V = \frac{Q}{A} \quad (22)$$

$$A = \frac{T * y}{2} \quad (23)$$

$$E = y + \frac{v^2}{2 * g} \quad (24)$$

Cálculo de la velocidad en cada punto de control:

❖ **Punto de control 3**

$$A = \frac{3 * 0.08}{2} = 0.159 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{0.2}{0.159} = 1.26 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

❖ **Punto de control 4**

$$A = \frac{3 * 0.08}{2} = 0.159 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{0.1619}{0.159} = 1.02 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

❖ **Punto de control 5**

$$A = \frac{3 * 0.07}{2} = 0.133 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{0.1260}{0.133} = 0.95 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

❖ **Punto de control 6**

$$A = \frac{3 * 0.07}{2} = 0.133 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{0.1175}{0.133} = 0.88 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

❖ **Punto de control 7**

$$A = \frac{3 * 0.07}{2} = 0.129 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{0.1223}{0.129} = 0.95 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

❖ **Punto de control 8**

$$A = \frac{3 * 0.07}{2} = 0.129 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{0.1023}{0.129} = 0.79 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Cálculo de la energía específica en cada punto de control

❖ **Punto de control 3**

$$E = 0.08 + \frac{1.26^2}{2 * 9.81} = 0.164$$

❖ **Punto de control 4**

$$E = 0.08 + \frac{1.02^2}{2 * 9.81} = 0.136$$

❖ **Punto de control 5**

$$E = 0.07 + \frac{0.95^2}{2 * 9.81} = 0.120$$

❖ **Punto de control 6**

$$E = 0.07 + \frac{0.88^2}{2 * 9.81} = 0.114$$

❖ **Punto de control 7**

$$E = 0.07 + \frac{0.95^2}{2 * 9.81} = 0.119$$

❖ **Punto de control 8**

$$E = 0.07 + \frac{0.79^2}{2 * 9.81} = 0.105$$

Luego de hallar la velocidad y la energía específica se procede a hallar la longitud con la fórmula del caudal captado como orificio suponiendo que se va a captar el 100% del caudal.

❖ **Longitud punto de control 3**

$$0.2 = \frac{2}{3} * 1.70 * \sqrt{2 * 9.81} * L * 0.164^{\frac{3}{2}} \quad L = 0.60 \text{ mts}$$

❖ **Longitud punto de control 4**

$$0.1619 = \frac{2}{3} * 1.70 * \sqrt{2 * 9.81} * L * 0.136^{\frac{3}{2}} \quad L = 0.64 \text{ mts}$$

❖ **Longitud punto de control 5**

$$0.1260 = \frac{2}{3} * 1.70 * \sqrt{2 * 9.81} * L * 0.120^{\frac{3}{2}} \quad L = 0.604 \text{ mts}$$

❖ **Longitud punto de control 6**

$$0.1175 = \frac{2}{3} * 1.70 * \sqrt{2 * 9.81} * L * 0.114^{\frac{3}{2}} \quad L = 0.608 \text{ mts}$$

❖ **Longitud punto de control 7**

$$0.1223 = \frac{2}{3} * 1.70 * \sqrt{2 * 9.81} * L * 0.119^{\frac{3}{2}} \quad L = 0.594 \text{ mts}$$

❖ **Longitud punto de control 8**

$$0.1023 = \frac{2}{3} * 1.70 * \sqrt{2 * 9.81} * L * 0.105^{\frac{3}{2}} \quad L = 0.598 \text{ mts}$$

Tabla 19. Dimensionamiento sumidero de rejilla Metodología del Caudal captado como vertedero

Punto control	Caudal		Velocidad					Energia específica		Cd	Longitud
	Q diseño	Q diseño	y1	y2	T	AT	V	y	E		
	(l/s)	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m2)	(m/s)	(m)	-	-	(m)
P3	200.04	0.2000	0.06	0.02	3	0.159	1.26	0.08	0.164	1.700	0.603
P4	161.91	0.1619	0.06	0.02	3	0.159	1.02	0.08	0.136	1.700	0.645
P3 - P4											
P5	126.00	0.1260	0.06	0.01	3	0.133	0.95	0.07	0.120	1.700	0.604
P6	117.55	0.1175	0.06	0.01	3	0.133	0.88	0.07	0.114	1.700	0.608
P5 - P6											
P7	122.34	0.1223	0.06	0.01	3	0.129	0.95	0.07	0.119	1.700	0.594
P8	102.34	0.1023	0.06	0.01	3	0.129	0.79	0.07	0.105	1.700	0.598
P7 - P8											

Fuente: Elaboración propia

5.2.4. Metodología FHWA

Según la FHWA los sumideros de rejilla son entradas efectivas de drenaje, para vías donde la obstrucción con escombros no es un problema, contrario a esto, se debe tener en cuenta eficiencia de las rejillas mencionada en la Tabla 20, donde se clasifican las rejillas, teniendo en cuenta la susceptibilidad a la obstrucción,

según las pruebas de laboratorio realizadas; esta tabla debe usarse solo para comparaciones relativas (FHWA, 2013)

Cuando la velocidad que se aproxima a la rejilla es menor que la velocidad de "salpicadura", la rejilla interceptará esencialmente todo el flujo frontal. Por el contrario, cuando la velocidad del flujo de la canaleta excede la velocidad de "salpicadura" para la parrilla, solo una parte del flujo será interceptada. Una parte del flujo a lo largo del costado de la parrilla será interceptada, dependiendo de la pendiente transversal del pavimento, la longitud de la parrilla y la velocidad del flujo.

Tabla 20. Eficiencias promedio de manejo de escombros de rejillas probadas

Rango	Rejilla	Pendiente longitudinal	
		0,005	0,04
1	Veleta curva	46	61
2	30°-85° Barra de inclinación	44	55
3	45°-85° Barra de inclinación	43	48
4	P-50	32	32
5	P-50X100	18	28
6	45°-60° Barra de inclinación	16	23
7	Reticulina	12	16
8	P-30	9	20

Fuente: (FHWA, 2013)

La relación del flujo frontal al flujo total de la canaleta, E_0 , para una pendiente transversal uniforme se expresa en la siguiente ecuación:

$$E_0 = \frac{Q_w}{Q} = 1 - \left(1 - \frac{W}{T}\right)^{2.67} \quad (25)$$

Donde:

$$Q = \text{Caudal total } \left(\frac{m^3}{s} \right).$$

$$Q_w = \text{Flujo en ancho } W \left(\frac{m^3}{s} \right).$$

W = Ancho de canaleta (m).

T = Extensión total del agua (m).

La relación del flujo lateral (Q_s), al flujo total de la canaleta se observa en la ecuación (26).

$$\frac{Q_s}{Q} = 1 - \left(\frac{Q_w}{Q} \right) = 1 - E_o \quad (26)$$

La relación del flujo frontal interceptado al flujo frontal total, R_f , se expresa en la ecuación(27).

$$R_f = 1 - K_u (V - V_o) \quad (27)$$

Donde:

- ❖ **K_u**= 0.295 (0.09 unidades inglesas)
- ❖ **V** = Velocidad de flujo en la canaleta (m/s)
- ❖ **V_o**= Velocidad de la canaleta donde primero se produce la salpicadura (m/s).

Nota: R_f no puede exceder a 1.0

Esta relación del flujo lateral es equivalente a la eficiencia de intercepción de flujo frontal; La Figura 32 proporciona una solución para la ecuación anterior, teniendo en cuenta la longitud de la rejilla, la configuración de la barra y la velocidad de la canaleta a la que se produce la salpicadura. La velocidad promedio de la canaleta (flujo total de la canaleta dividido por el área de flujo) es necesaria para usar el grafico de la Figura 32.

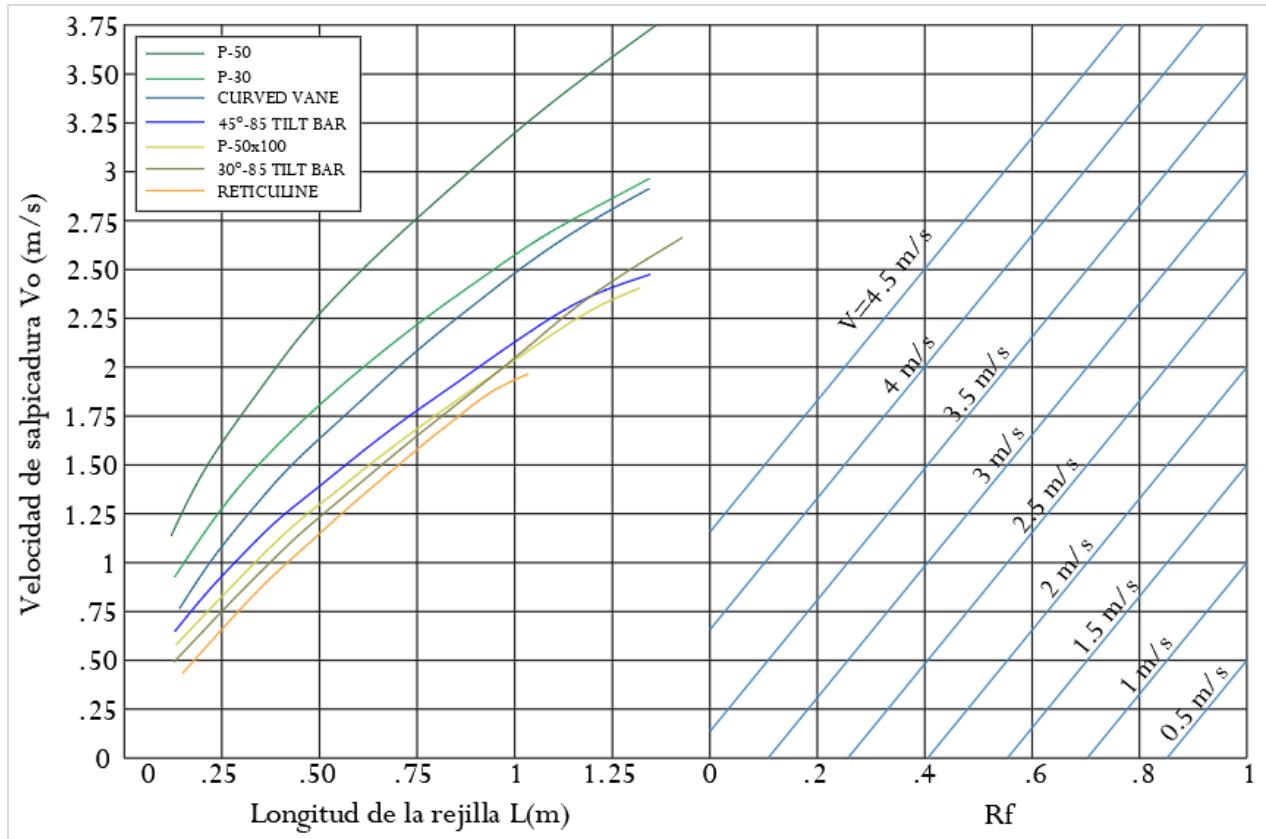


Figura 32. Eficiencia de intercepción de flujo frontal de entrada de rejilla

Fuente: (FHWA, 2013)

La relación del flujo lateral interceptado al flujo lateral total, R_s o eficiencia de intercepción de flujo lateral, se expresa por medio de la ecuación (28).

$$R_s = \frac{1}{1 + \frac{K_U V^{1.8}}{S_X L^{2.3}}} \quad (28)$$

Donde:

❖ $K_u = 0.0828$ (0.15 unidades inglesas)

La eficiencia total de la rejilla (E), se expresa según lo dispuesto en la ecuación (29).

$$E = R_f E_o + R_s E_s = R_f E_o + R_s(1 - E_o) \quad (29)$$

Solución

Para el desarrollo de esta metodología se hizo uso de la gráfica mostrada en la Figura 32, teniendo en cuenta que no se captará el 100% del flujo del caudal; siguiendo las instrucciones de la metodología, de acuerdo a la velocidad con que el caudal se acerca a cada punto de control, se puede hallar la relación del flujo frontal interceptado; se hará uso de la rejilla tipo reticulada mostrada en la Figura 33.

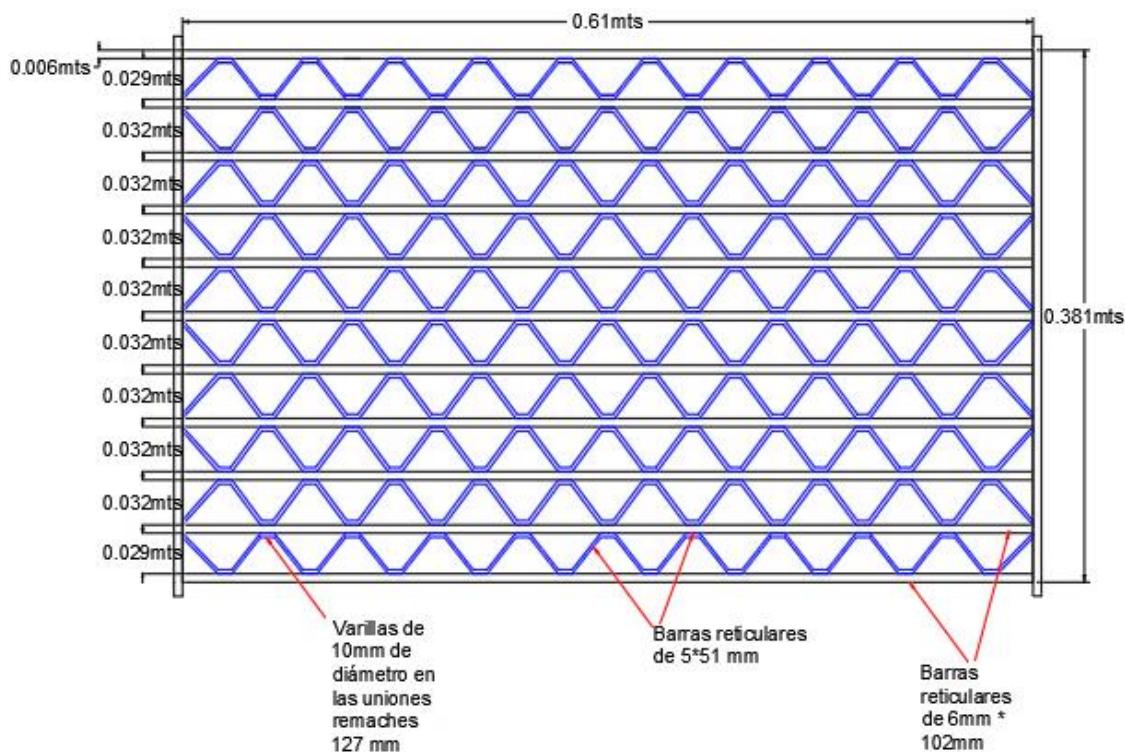


Figura 33. Rejilla tipo reticulada

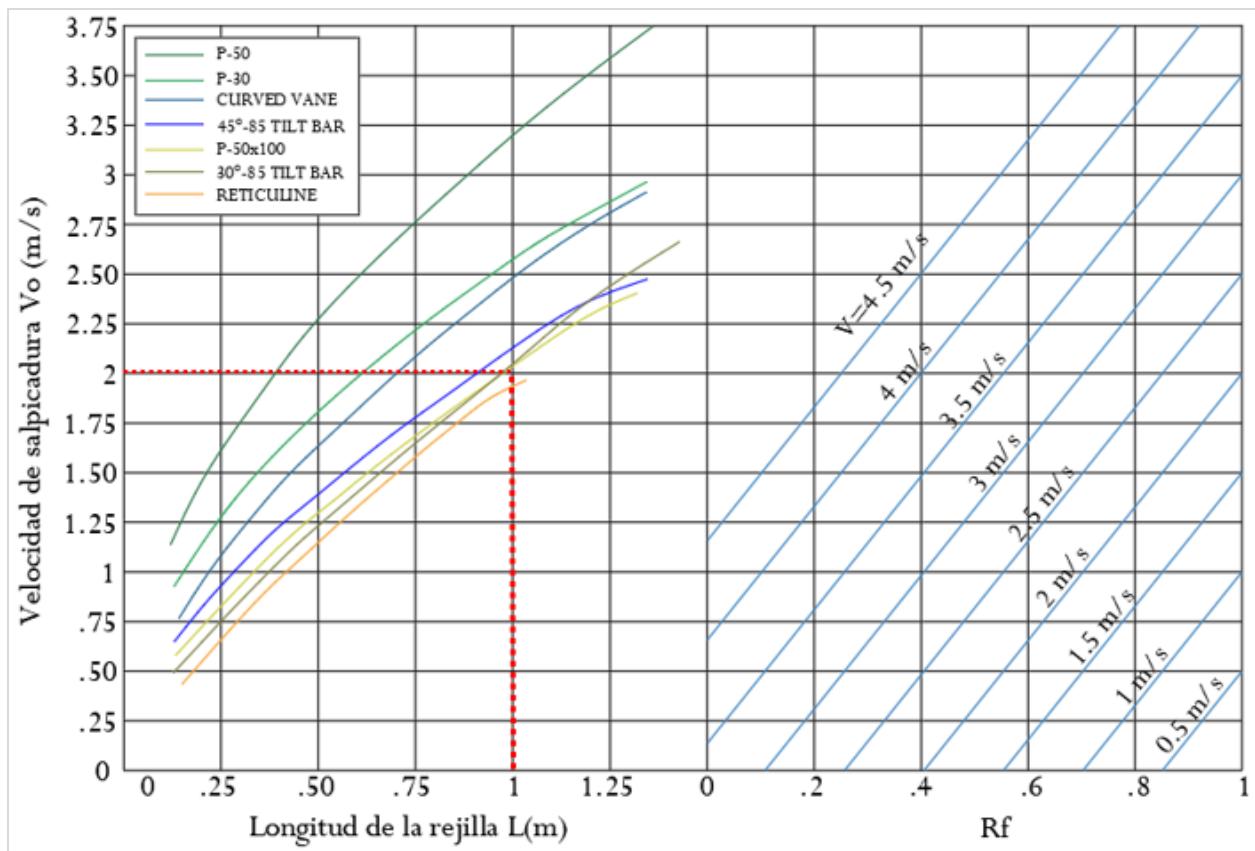


Figura 34. Cálculo de Rf para la rejilla

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21. Dimensionamiento sumidero de rejilla Metodología FHWA

Punto control	Caudal		Velocidad					W	L	Metodología FHWA						
	Q diseño (l/s)	Q diseño (m3/s)	y1 (m)	y2 (m)	T (m)	AT (m2)	V (m/s)			Tipo de rejilla: Reticuline						
										Eo	Rs	Rf	E	Qi		
P3	200.04	0.200	0.06	0.02	3	0.159	1.26	2.00	0.8	1	0.5631	0.13809	1	0.62	0.125	
P4	161.91	0.162	0.06	0.02	3	0.159	1.02	2.00	0.8	1	0.5631	0.18991	1	0.65	0.105	
P3 - P4																
P5	126.00	0.126	0.06	0.01	3	0.133	0.95	2.00	0.8	1	0.5631	0.21085	1	0.66	0.083	
P6	117.55	0.118	0.06	0.01	3	0.133	0.88	2.00	0.8	1	0.5631	0.23241	1	0.66	0.078	
P5 - P6																
P7	122.34	0.122	0.06	0.01	3	0.129	0.95	2.00	0.8	1	0.5631	0.2096	1	0.65	0.080	
P8	102.34	0.102	0.06	0.01	3	0.128	0.80	2.00	0.8	1	0.5674	0.26424	1	0.68	0.070	
P7 - P8																

Fuente: Elaboración propia

5.2.5. Metodología de Materón

(Materón, 1997) propone una metodología extraída del libro Vente Chow, la cual considera que un sumidero de rejilla funciona como una reja de fondo y está constituido por una reja de barras paralelas o de lámina perforada, cuya función principal es impedir el paso de sedimentos gruesos y desechos que puedan obstruir el paso del agua hacia 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

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, la carga efectiva en el caso de barras paralelas es prácticamente igual a la energía específica (E) (Subramanya, 2015), 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 expresa mediante la ecuación (30).

$$-\frac{dQ}{dx} = e * c * b * \sqrt{2 * g * E} \quad (30)$$

Donde:

- ❖ $\frac{dQ}{dx}$ = Caudal descargado por la rejilla por unidad de longitud, (m³/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 rejilla 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. Materiaón ilustra un cuadro con las relaciones entre los tipos de rejilla, inclinación con la horizontal (θ), coeficiente de descarga (c) los cuales se ilustran en la Tabla 22.
- ❖ b = Ancho total de la reja, (m)
- ❖ E = Energía específica (m)

Tabla 22. Relaciones entre los tipos de rejilla y la inclinación horizontal

Tipo de rejilla	Inclinación (θ) (Grados)	Coeficiente (C)
Barras paralelas	11.3 (5h:1V) 0	0.435 - 0.497
Lámina perforada	11.3 (5h:1V) 0	0.750 - 0.800

Fuente: (Galvis, 2004)

Para una captación parcial del caudal requerido, se cuenta con la ecuación (32).

$$x = \frac{Y_1}{E} * \sqrt{1 - \frac{Y_1}{E}} - \frac{Y}{E} * \sqrt{1 - \frac{Y}{E}} \quad (31)$$

Donde:

- ❖ X = Longitud de la rejilla para una lámina de agua Y ($L=X$) (m).
- ❖ Y_1 = Lámina del agua al inicio de la rejilla (m).
- ❖ Y = Lámina del agua en un punto intermedio o al final de la rejilla ($Y=Y_2$) (m).

Para una captación total, o sea cuando ($Y=0$), se hace uso de la ecuación (32).

$$L_r = \frac{E}{e * c} \left(\frac{Y_1}{E} \sqrt{1 - \frac{Y_1}{E}} \right) \quad (32)$$

En términos del caudal de diseño Q_d , la ecuación (32) es equivalente a la mostrada en la ecuación (33).

$$L_r = \frac{Q_1}{(e * c * b * (2 * g * E)^2)} \quad (33)$$

En esta ecuación la energía específica (m), se calcula a partir de la profundidad crítica (Y_c) en el canal de aproximación, la cual se muestra en la ecuación (34).

$$E = 1.5 * Y_c = \left[\frac{(Q_1)^2}{g * L^2} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (34)$$

Donde:

$$Q_1 = Q_v$$

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 agua sobre la reja; con el fin de determinar la longitud de rejilla requerida para este caso, se cuenta con la ecuación (35).

$$L_r = \frac{E}{ec} * \left(\frac{3}{2} * \sqrt{\frac{Y_1}{E}} \right) \left(1 - \frac{Y_1}{E} - \frac{1}{4} \operatorname{sen}^{-1} \left\{ 1 - \frac{2 * Y_1}{E} \right\} + \frac{\pi}{8} \right) \quad (35)$$

Con el fin de determinar el caudal captado por las rejillas con alta inclinación, se hace uso de la ecuación (36).

$$Q_v = k * b * 1 - \frac{Y_2 * \sqrt{E - Y_2}}{Y_1 * \sqrt{E - Y_1}} \quad (36)$$

Donde:

K=1.56

b= Ancho total de la reja (m).

E= Energía específica (m).

Y₁= Lámina de agua antes de la rejilla (m).

Y₂= Altura del agua en un punto intermedio o al final de la rejilla (m).

Tanto en la rejilla con poca inclinación y como en las que cuentan con alta inclinación, es recomendable aumentar el valor teórico de la longitud de la rejilla, con el fin de garantizar la captación de la totalidad del caudal, ya que este elemento puede obstruirse parcialmente (Materón, 1997).

Solución

Para la solución de esta de esta metodología, con el objetivo de captar el 100% del caudal, se calcula la energía específica, teniendo en cuenta la altura de la lámina de agua cercada al sumidero y la longitud en cada punto de control.

❖ E. específica punto de control 3 y 4

$$E = 1.5 * 0.08 = 0.1246$$

❖ E. específica punto de control 5 y 6

$$E = 1.5 * 0.07 = 0.1116$$

❖ E. específica punto de control 7 y 8

$$E = 1.5 * 0.07 = 0.1094$$

❖ **Longitud punto de control 3**

$$Lr = \frac{0.2}{(0.36 * 0.435 * 0.8 * (2 * 9.81 * 0.1246)^2)} = 1.02 \text{ mts}$$

❖ **Longitud punto de control 4**

$$Lr = \frac{0.1619}{(0.36 * 0.435 * 0.8 * (2 * 9.81 * 0.1246)^2)} = 0.83 \text{ mts}$$

❖ **Longitud punto de control 5**

$$Lr = \frac{0.1265}{(0.36 * 0.435 * 0.8 * (2 * 9.81 * 0.1116)^2)} = 0.68 \text{ mts}$$

❖ **Longitud punto de control 6**

$$Lr = \frac{0.1175}{(0.36 * 0.435 * 0.8 * (2 * 9.81 * 0.1116)^2)} = 0.63 \text{ mts}$$

❖ **Longitud punto de control 7**

$$Lr = \frac{0.1229}{(0.36 * 0.435 * 0.8 * (2 * 9.81 * 0.1094)^2)} = 0.67 \text{ mts}$$

❖ **Longitud punto de control 8**

$$Lr = \frac{0.1023}{(0.36 * 0.435 * 0.8 * (2 * 9.81 * 0.1094)^2)} = 0.56 \text{ mts}$$

Tabla 23. Dimensionamiento sumidero de rejilla metodología de Materón

Punto control	Caudal		Energía específica		Longitud de rejilla Metodología de Materón		
	Q diseño	Q diseño	Y	E	e	b	Lr
	(l/s)	(m3/s)	(m)	-	-	(m)	(m)
P3	200.04	0.200	0.08	0.1246	0.36	0.8	1.02
P4	161.91	0.162	0.08	0.1246	0.36	0.8	0.83
P3 - P4							
P5	126.00	0.126	0.07	0.1116	0.36	0.8	0.68
P6	117.55	0.118	0.07	0.1116	0.36	0.8	0.63
P5 - P6							
P7	122.34	0.122	0.07	0.1094	0.36	0.8	0.67
P8	102.34	0.102	0.07	0.1094	0.36	0.8	0.56
P7 - P8							

Fuente: Elaboración propia

5.3. 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; sin embargo, 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 (FHWA, 2013). Los sumideros ranurados son muy eficaces y además tiene gran variedad de usos, ya que pueden ser utilizados en secciones limitadas o no por andenes, son afectar el tráfico sobre las mismas (Galvis, 2004).

Los planos realizados que corresponden a los diseños según los cálculos y cada metodología de los sumideros ranurados se encuentran en los anexos y a continuación la imagen 35 presenta un esquema de la vista en planta que compone cada plano.

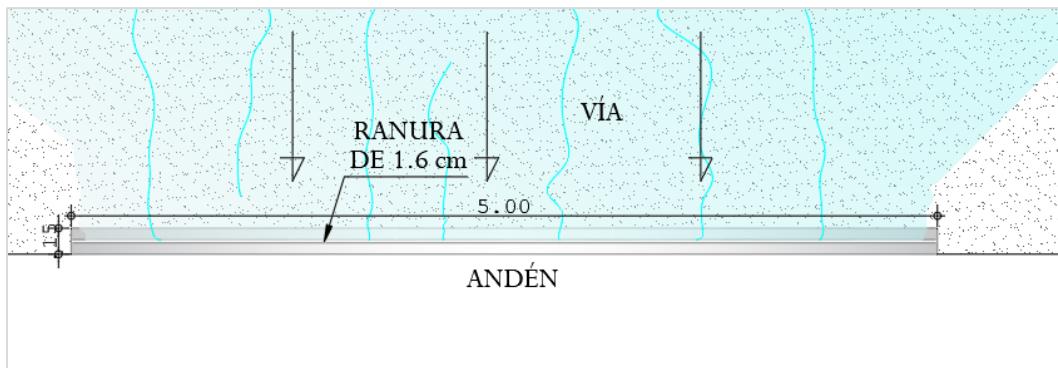


Figura 35. Vista en planta sumidero ranurado

Fuente: Elaboración propia

5.3.1. Metodología FHWA

Capacidad de interceptación entradas en pendiente

Las entradas ranuradas son entradas efectivas de drenaje de pavimento que tienen una variedad de aplicaciones, se pueden usar en secciones curvadas o no curvadas y ofrecen poca interferencia a las operaciones de tráfico, un ejemplo de esto se ilustra en la Figura 36.

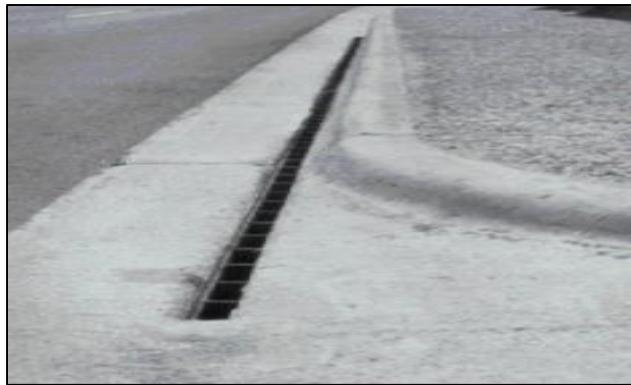


Figura 36. Entrada de drenaje ranurada en una intersección

Fuente: (FHWA, 2013)

La intercepción de flujo por entradas ranuradas y entradas de apertura de bordillo es similar en que cada una es un vertedero lateral y el flujo está sujeto a una aceleración lateral debido a la pendiente transversal del pavimento. El análisis de los datos de las pruebas de la Administración Federal de Carreteras de entradas ranuradas con anchos de ranura ≥ 45 mm (1.75 pulg.) Indica que la longitud de la entrada ranurada requerida para la intercepción total puede calcularse mediante la ecuación (37).

$$L_T = K_T Q^{0.42} S_L^{0.3} \left[\frac{1}{(n S_e)} \right]^{0.6} \quad (37)$$

Por lo tanto, es aplicable tanto para las entradas de apertura de acera como para las entradas ranuradas.

Cuando se utilizan drenajes ranurados para capturar el flujo terrestre, la investigación ha indicado que con profundidades de agua que varían de 9.7 mm (0.38 pulg.) A 14.2 mm (0.56 pulg.), Las ranuras de 25, 44 y 63 mm (1, 1.75 y 2.5 pulg.) De ancho puede acomodar 0.0007 m³ / s / m (0.025 ft³ / s / ft) sin salpicaduras para pendientes de 0.005 a 0.09 m / m (ft / ft).

A una capacidad del sistema de prueba de 0.0011 m³ / s / m (0.40 ft³ / s / ft), se produjo una pequeña cantidad de salpicadura.

Capacidad de interceptación entradas en ubicaciones hundidas

Las entradas ranuradas en ubicaciones de hundimiento funcionan como vertederos a profundidades de aproximadamente 0.06 m dependiendo del ancho de la ranura, cuando se tienen profundidades superiores a aproximadamente 0,12 m, funcionan como orificios, cuando la lámina de agua se encuentre entre estas profundidades, el flujo está en una etapa de transición; La capacidad de interceptación de una entrada ranurada que funciona como vertedero puede calcularse mediante una ecuación (38) (FHWA, 2013).

$$Q_i = C_w L d^{1.5} \quad (38)$$

Donde:

C_w= Coeficiente de vertedero;1.4 (2.48 para unidades inglesas).

L= Longitud de la ranura (m).

d = Profundidad en la acera medida desde la pendiente transversal normal (m).

cuando la entrada ranurada entra a funcionar como orificio, la capacidad de la misma se puede calcular como la ecuación (39).

$$Q_i = 0.8 L W (2gd)^{0.5} \quad (39)$$

Donde:

- ❖ **W**= Ancho de la ranura, (m).
- ❖ **L**= Longitud de la ranura, m (m)
- ❖ **d** = Profundidad de agua en la ranura para d> 0,12 m.
- ❖ **g** = 9.81 m/s².

Para un ancho de ranura de 45 mm, la ecuación anterior se convierte en la ecuación (40).

$$Q_i = C_o L d^{0.5} \quad (40)$$

Donde:

- ❖ $C_o = 0.16$ (0.94 Unidades inglesas)

Para calcular de manera conservadora la capacidad de interceptación de entradas ranuradas en condiciones de sumidero en el área de transición, se deben suponer condiciones de orificio.

Debido a las características de obstrucción, no se recomiendan los desagües ranurados en lugares hundidos.

Solución

Este sumidero funcionará como vertedero, ya que la lámina de agua cercana al sumidero, es menor a 0.012m; se trabajará con una rejilla tipo CNL SLIMLINE 1000MM H146 B125, el cual es un canal de drenaje ACO SLIMLINE de hormigón polímero, de clase de carga hasta B125 según EN143, monolítico con reja ranurada integrada de hormigón polímero con performa rompible para salida vertical DN/OD 110, el cual cuenta con una sección interior de 95 cm², longitud total 1000 mm, altura exterior 146 mm y ancho exterior 146 mm, el ancho interior nominal es de ø110 mm.

❖ **Longitud punto de control 3**

$$0.2 = 1.4 * L * 0.08^{1.5} = 5.97m$$

❖ **Longitud punto de control 4**

$$0.1619 = 1.4 * L * 0.08^{1.5} = 4.83m$$

❖ **Longitud punto de control 5**

$$0.1260 = 1.4 * L * 0.07^{1.5} = 4.43m$$

❖ **Longitud punto de control 6**

$$0.1175 = 1.4 * L * 0.07^{1.5} = 4.14m$$

❖ **Longitud punto de control 7**

$$0.1223 = 1.4 * L * 0.07^{1.5} = 4.43m$$

❖ **Longitud punto de control 8**

$$0.1023 = 1.4 * L * 0.07^{1.5} = 3.71m$$

Tabla 24. Dimensionamiento sumidero de ranurado, metodología de FHWA

Punto control	Caudal		Metodología FHWA entrada que funciona como vertedero			
	Q diseño	Q diseño	y	W	L	C _w
	(l/s)	(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(-)
P3	200.04	0.2000	0.08	0.016	5.97	1.4
P4	161.91	0.1619	0.08	0.016	4.83	1.4
P3 - P4						
P5	126.00	0.1260	0.07	0.016	4.43	1.4
P6	117.55	0.1175	0.07	0.016	4.14	1.4
P5 - P6						
P7	122.34	0.1223	0.07	0.016	4.43	1.4
P8	102.34	0.1023	0.07	0.016	3.71	1.4
P7 - P8						

Fuente: Elaboración propia

5.3.2. Metodología de la Texas Department of Transportation

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 (Prada Forero, 2009).

Sin embargo, se plantea el siguiente procedimiento para el diseño de este sistema de captación, en la cual se puede determinar la longitud del sumidero ranurado requerida para interceptar toda el agua en la cuneta L_r , por medio de la ecuación (41) (Texas Department of Transportation, 2002).

$$L_r = \frac{z * Q_a^{0.442} * S^E * S_x^{-0.849}}{n^{0.384}} \quad (41)$$

Dónde:

- ❖ L_r = Longitud requerida del sumidero ranurado que intercepta la totalidad del caudal en la cuneta (m).
- ❖ z = 0.706 para el sistema inglés ó 1.04 para el sistema métrico.
- ❖ Q_a = Caudal total a descargar o interceptar ($\frac{m^3}{s}$).
- ❖ S = Pendiente longitudinal de la cuneta ($\frac{m}{m}$).
- ❖ S_x = Pendiente transversal ($\frac{m}{m}$).
- ❖ n = Coeficiente de rugosidad de Manning.
- ❖ E = Esta en función de (S) y de (S_x) según lo determinado en la ecuación (42).

$$E = 0.207 - 19.084S^2 + 2.613S - 0.0001S_x^{-2} + 0.007S_x^{-1} - 0.049S * S_x^{-1} \quad (42)$$

La anterior ecuación se encuentra limitada por las siguientes variables:

- ❖ Q_a = Caudal total a descargar o interceptar $\leq 0.156 \left(\frac{m^3}{s} \right)$
- ❖ S = Pendiente longitudinal de la cuneta $\leq 0.09 \left(\frac{m}{m} \right)$
- ❖ n = Coeficiente de rugosidad de Manning en la cuneta: $0.011 \leq n \leq 0.017$

Estas restricciones se deben a que las ecuaciones son empíricas, por ende, no es recomendada la extrapolación, dicho esto, el proceso anterior permite determinar la longitud del sumidero ranurado necesaria para captar la totalidad del caudal a evacuar.

Para determinar la capacidad de interceptación (Q_i) de un sumidero ranurado estándar (como se encuentra en el mercado), se debe realizar el procedimiento mencionado a continuación:

- ❖ Seleccionar la longitud del sumidero ranurado (L_a) basado en tamaños de sumideros estándar. Si la $L_a < L_r$; la capacidad de interceptación puede ser estimada usando la Figura 37.

Para determinar el caudal que sobrepasa la longitud del sumidero ranurado estándar, se usa la siguiente ecuación (43).

$$Q_{co} = 0.918 * Q * \left(1 - \frac{L_a}{L_r}\right)^{1.769} \quad (43)$$

Dónde:

- ❖ **Q_{co}** = Caudal que sobrepasa $\left(\frac{m^3}{s}\right)$.
- ❖ **Q** = Caudal de aproximación $\left(\frac{m^3}{s}\right)$.
- ❖ **L_a** = Longitud del sumidero ranurado (m).
- ❖ **L_r** = Longitud del sumidero ranurado requerida para captar la totalidad del caudal (m).

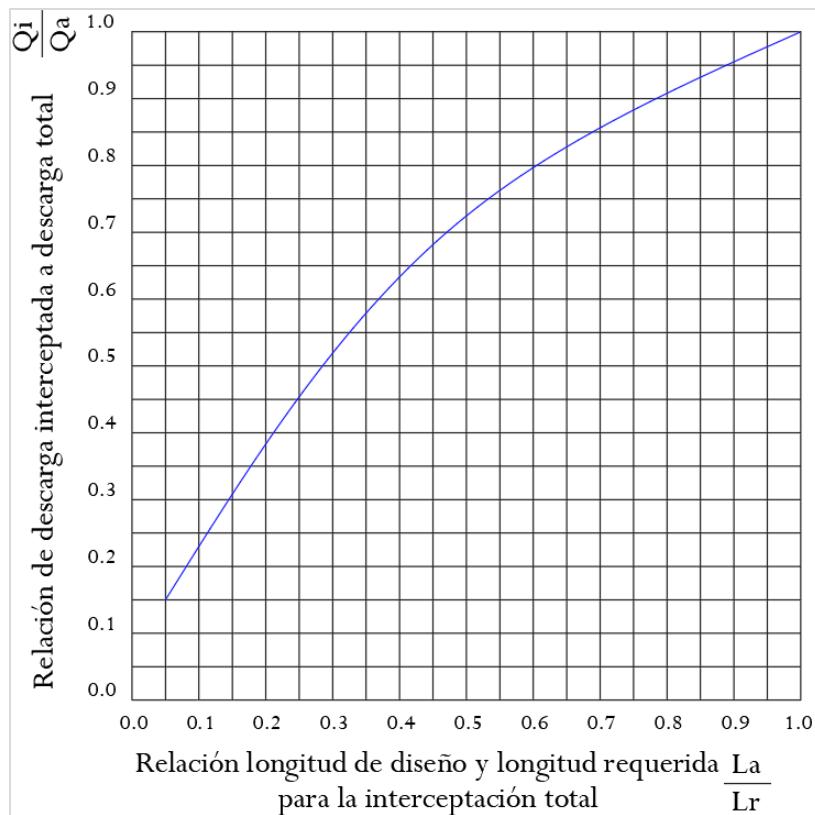


Figura 37. Porción de caudal interceptado para sumidero ranurado
 Fuente: (Prada Forero, 2009)

Solución

Para la solución de este procedimiento se tiene en cuenta que el caudal interceptado en el punto de control 3 y 4 no son recomendables al momento de realizar esta metodología, ya que el autor recomienda utilizarla para caudales menores o iguales a $0.156 \left(\frac{m^3}{s}\right)$, sin embargo, se realizaron los cálculos respectivos para cada uno de los puntos de control, teniendo en cuenta que este sumidero va a funcionar con una eficiencia del 100% de captación del caudal.

Para esta metodología los términos que se deben tener en cuenta son un valor z que es de 1.05 según autores, la pendiente longitudinal y transversal, el coeficiente de rugosidad de Manning y un parámetro E , representado en la ecuación (42).

Teniendo los valores anteriormente mencionados se procede la hallar la longitud del sumidero en cada punto.

❖ **Longitud punto de control 3**

$$L_r = \frac{1.04 * 0.2^{0.442} * 2.7\%^{-0.00156} * 2\%^{-0.849}}{0.016^{0.384}} = 23.64 \text{ mts}$$

❖ **Longitud punto de control 4**

$$L_r = \frac{1.04 * 0.1618^{0.442} * 2.7\%^{-0.00156} * 2\%^{-0.849}}{0.016^{0.384}} = 21.53 \text{ mts}$$

❖ **Longitud punto de control 5**

$$L_r = \frac{1.04 * 0.1265^{0.442} * 2.7\%^{-0.00156} * 2\%^{-0.849}}{0.016^{0.384}} = 19.27 \text{ mts}$$

❖ **Longitud punto de control 6**

$$L_r = \frac{1.04 * 0.1175^{0.442} * 2.7\%^{-0.00156} * 2\%^{-0.849}}{0.016^{0.384}} = 18.69 \text{ mts}$$

❖ **Longitud punto de control 7**

$$L_r = \frac{1.04 * 0.1228^{0.442} * 2.7\%^{-0.00156} * 2\%^{-0.849}}{0.016^{0.384}} = 19.02 \text{ mts}$$

❖ **Longitud punto de control 8**

$$L_r = \frac{1.04 * 0.1023^{0.442} * 2.7\%^{-0.00156} * 2\%^{-0.849}}{0.016^{0.384}} = 17.58 \text{ mts}$$

Tabla 25. Dimensionamiento sumidero ranurado por Metodología de la Texas Departament of transportation

Punto control	Caudal		Metodología de la Texas Departament of Transportation					
	Q diseño (l/s)	Q diseño (m3/s)	z	SL	Sx	n	E	L (m)
	-	%	%	-	-			
P3	200.04	0.2000	1.04	0.027027	2.0%	0.016	0.297	23.64
P4	161.91	0.1619	1.04	2.70%	2.0%	0.016	0.297	21.53
P3 - P4								
P5	126.00	0.1260	1.04	2.70%	2.0%	0.016	0.297	19.27
P6	117.55	0.1175	1.04	2.70%	2.0%	0.016	0.297	18.69
P5 - P6								
P7	122.34	0.1223	1.04	2.70%	2.0%	0.016	0.297	19.02
P8	102.34	0.1023	1.04	2.70%	2.0%	0.016	0.297	17.58
P7 - P8								

Fuente: Elaboración propia

5.4. Sumideros combinados

Se entiende por sumideros combinados, a un tipo de sumidero compuesto por una rejilla y una abertura lateral, con una capacidad de intercepción igual a la suma de los dos sumideros; 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 (Galvis, 2004)

Este tipo de sumideros tiene como ventaja la intercepción de escombros y basuras, actuando como "barrendero" para impedir el paso de desechos, que podrían obstruir la rejilla y desviar el agua hacia otro sumidero. La posición más eficiente para este tipo de sumideros es en una curva vertical cóncava o en un punto bajo, con ventanas a ambos lados de la rejilla (Franco Calderón, 2015).

en la Figura 38, Figura 39 y la Figura 40, se puede observar un esquema de la vista tanto en planta como los cortes longitudinal y transversal de un sumidero combinado tipo.

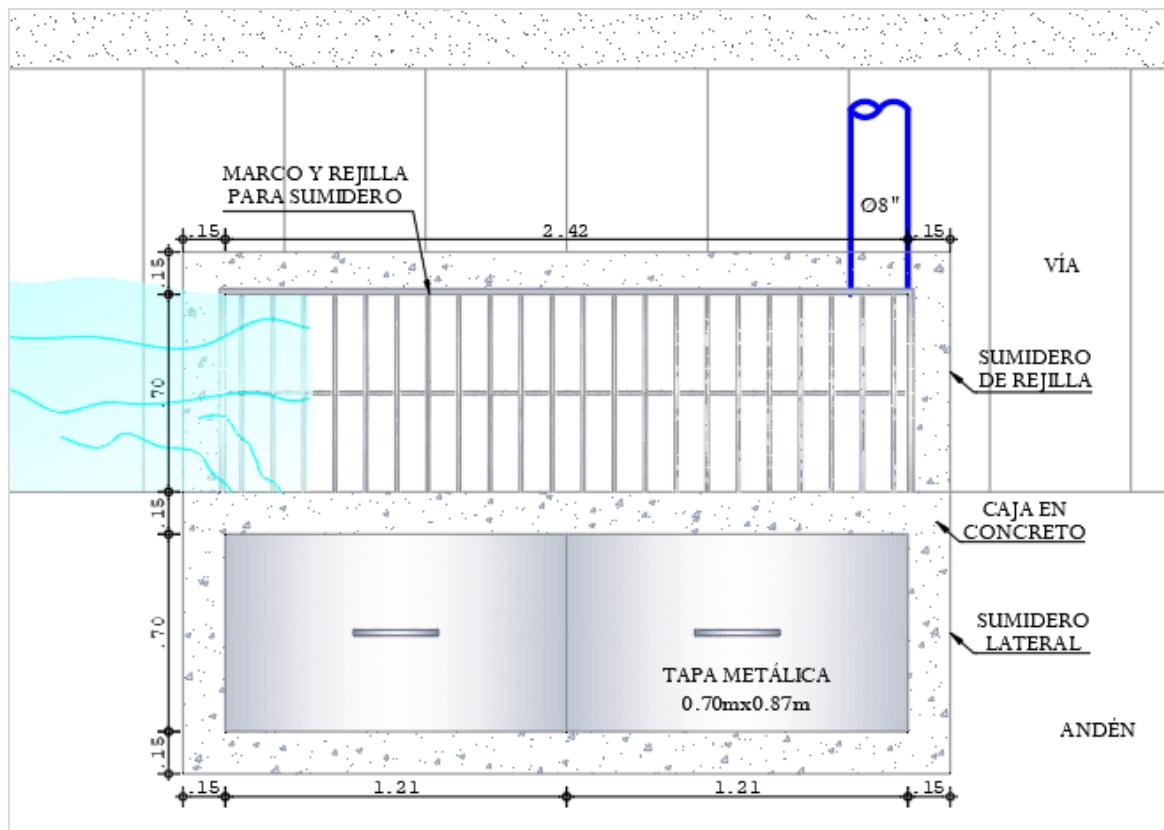


Figura 38. Vista en planta sumidero combinado

Fuente: Elaboración propia

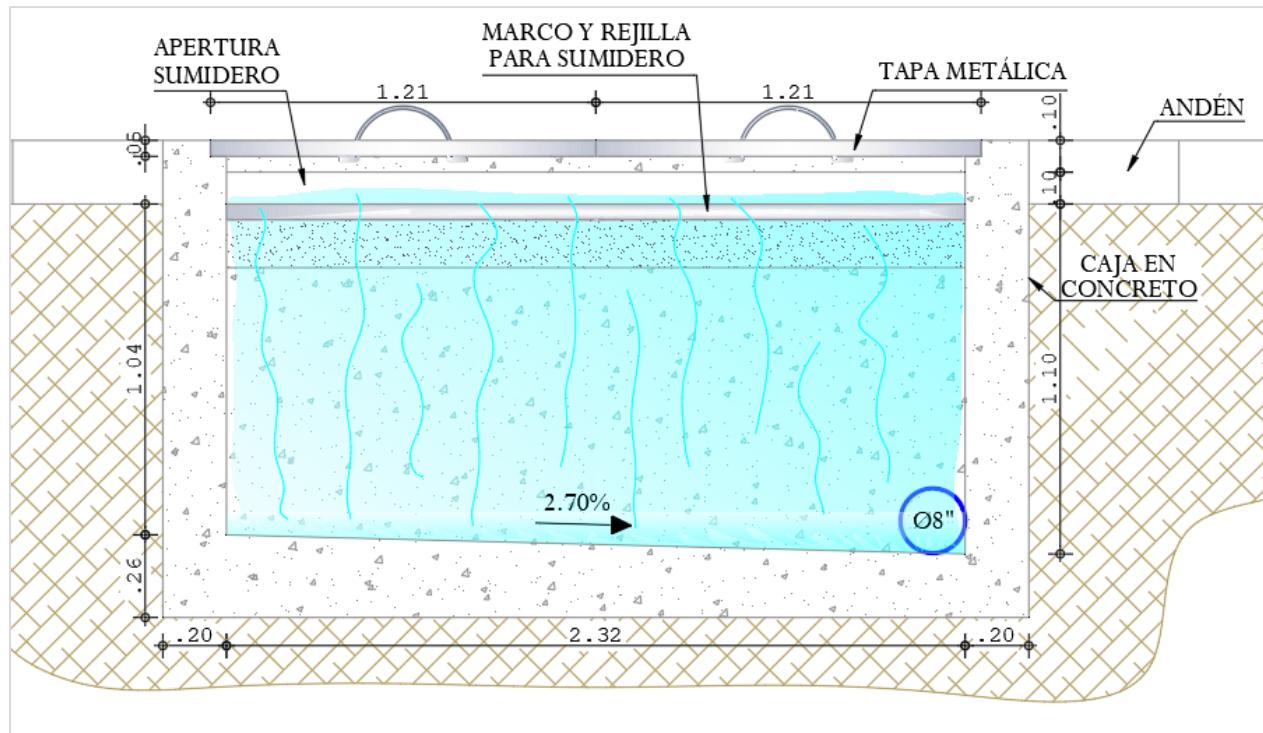


Figura 39. Sección longitudinal sumidero combinado

Fuente: Elaboración propia

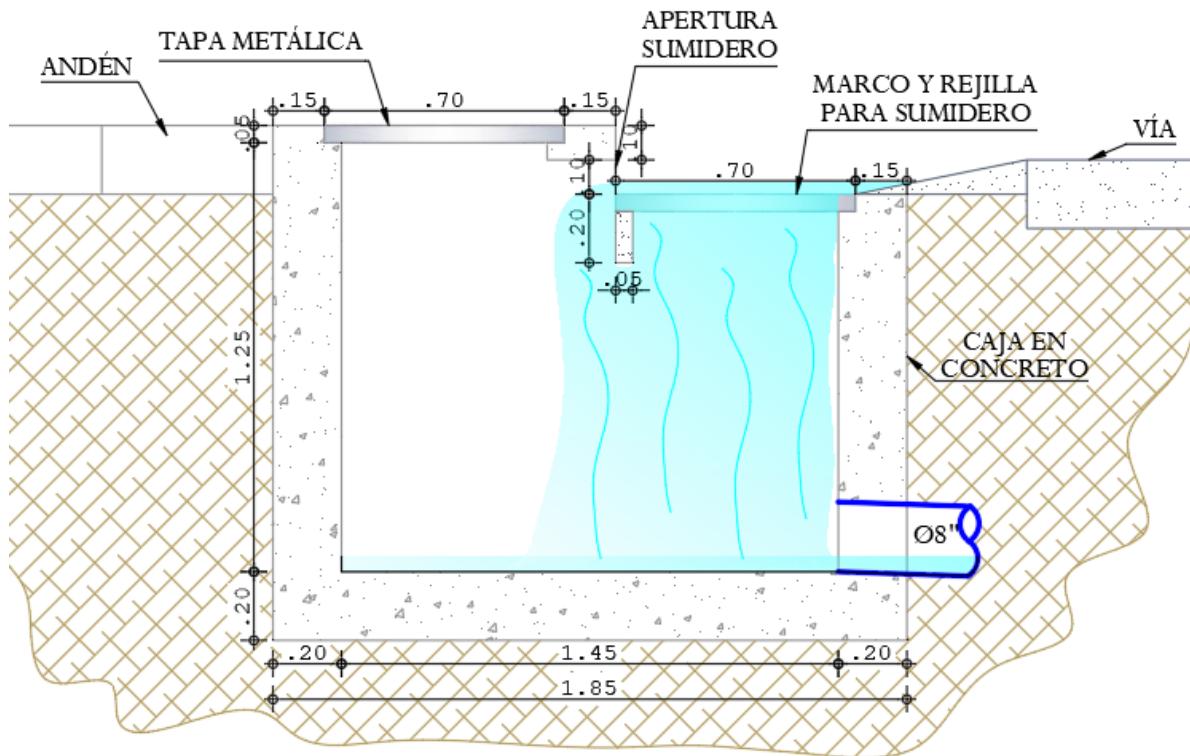


Figura 40. Sección transversal sumidero combinado

Fuente: Elaboración propia

5.4.1. Metodología FHWA

Las entradas combinadas que consisten en una rejilla y una apertura de bordillo se consideran aconsejables para su uso en pandeos donde pueden producirse estanques peligrosos; las entradas de igual longitud se refieren a una entrada de rejilla colocada junto a una apertura de bordillo de igual longitud, una entrada de barredora hace referencia a una entrada de rejilla colocada en el extremo aguas abajo de una entrada de apertura de bordillo, donde la entrada de apertura de acera es más larga que la entrada de la rejilla e intercepta el flujo antes de llegar a la rejilla; esta última es más eficiente, ya que tiene la capacidad de interceptar cualquier residuo que pueda obstruir la entrada de la rejilla (FHWA, 2013).

Al trabajar el flujo como vertedero, la longitud se dimensiona haciendo uso de las ecuaciones mostradas anteriormente para un sumidero de rejilla como vertedero; al trabajar el flujo como orificio, la capacidad de la entrada combinada de igual longitud es igual a la capacidad de la rejilla más la capacidad de la apertura de la acera y se calcula mediante la ecuación (44).

$$Q_i = 0.67 A_g (2gd)^{0.5} + 0.67hL(2gd_o)^{0.5} \quad (44)$$

Donde:

- ❖ **A_g**= Área despejada de la parrilla, (m²).
- ❖ **g** = 9.81 m/s² (32.16 ft/s² Unidades Inglesas).
- ❖ **d** = Profundidad media sobre la parrilla, (m).
- ❖ **h** = Altura del orificio de apertura de la acera, (m).
- ❖ **L** = Longitud de la abertura de la acera, (m).
- ❖ **d_o**= Profundidad efectiva en el centro del orificio de apertura de la acera, la cual se puede hallar con la ecuación (45), teniendo en cuenta la Figura 41.

$$d_o = di - \frac{h}{2} \quad (45)$$

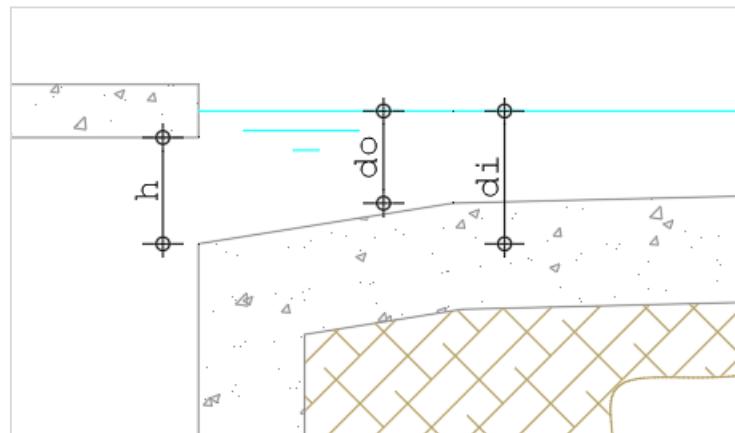


Figura 41. Sumidero lateral trabajando como orificio

Fuente: Elaboración propia

Solución

Existen dos tipos de entrada de sumideros combinados en esta metodología, para este caso se trabajará entrada de igual longitud, con flujo como orificio, con el fin de dar uso a la ecuación mencionada anteriormente, teniendo en cuenta el tipo de rejilla que en este caso es el tipo E-25, como orificio.

❖ Longitud punto de control 3

$$0.2 = 0.67 * 0.0693(2 * 9.81 * 0.08)^{0.5} + 0.67 * 0.1 + L(2 * 9.81 * 0.03)^{0.5} = 0.43 \text{ m}$$

❖ Longitud punto de control 4

$$0.1619 = 0.67 * 0.0693(2 * 9.81 * 0.08)^{0.5} + 0.67 * 0.1 + L(2 * 9.81 * 0.03)^{0.5} = 0.35 \text{ m}$$

❖ Longitud punto de control 5

$$0.1260 = 0.67 * 0.0693(2 * 9.81 * 0.07)^{0.5} + 0.67 * 0.1 + L(2 * 9.81 * 0.02)^{0.5} = 0.39 \text{ m}$$

❖ Longitud punto de control 6

$$0.1175 = 0.67 * 0.0693(2 * 9.81 * 0.07)^{0.5} + 0.67 * 0.1 + L(2 * 9.81 * 0.02)^{0.5} = 0.27 \text{ m}$$

❖ Longitud punto de control 7

$$0.1223 = 0.67 * 0.0693(2 * 9.81 * 0.07)^{0.5} + 0.67 * 0.1 + L(2 * 9.81 * 0.02)^{0.5} = 0.28 \text{ m}$$

❖ Longitud punto de control 7

$$0.1023 = 0.67 * 0.0693(2 * 9.81 * 0.07)^{0.5} + 0.67 * 0.1 + L(2 * 9.81 * 0.02)^{0.5} = 0.24 \text{ m}$$

Tabla 26. Dimensionamiento sumidero combinado metodología FHWA

Punto control	Caudal		Longitud sumidero mixto metodología FHWA orificio						
			Rejilla tipo E-25						
	Q diseño (l/s)	Q diseño (m ³ /s)	Ag (m ²)	g (m/s ²)	d (m)	h (m)	do m	LT	Q diseño (m ³ /s)
P3	200.04	0.2000	0.21	9.81	0.08	0.10	0.03	0.43	0.2000
P4	161.91	0.1619	0.17	9.81	0.08	0.10	0.03	0.35	0.1619
P3 - P4									
P5	126.00	0.1260	0.14	9.81	0.07	0.10	0.02	0.29	0.1260
P6	117.55	0.1175	0.13	9.81	0.07	0.10	0.02	0.27	0.1175
P5 - P6									
P7	122.34	0.1223	0.14	9.81	0.07	0.10	0.02	0.28	0.1215
P8	102.34	0.1023	0.11	9.81	0.07	0.10	0.02	0.24	0.1023
P7 - P8									

Fuente: Elaboración propia

5.5. Sumideros transversales

La siguiente metodología corresponde al cálculo de diseño para sumideros transversales; teniendo en cuenta las literaturas investigadas, para diseñar un sumidero transversal se presenta la metodología planteada por Russo, Gómez y Tellez. En la Figura 42, Figura 43 y la Figura 44, se presenta un esquema tipo sobre los sumideros laterales.

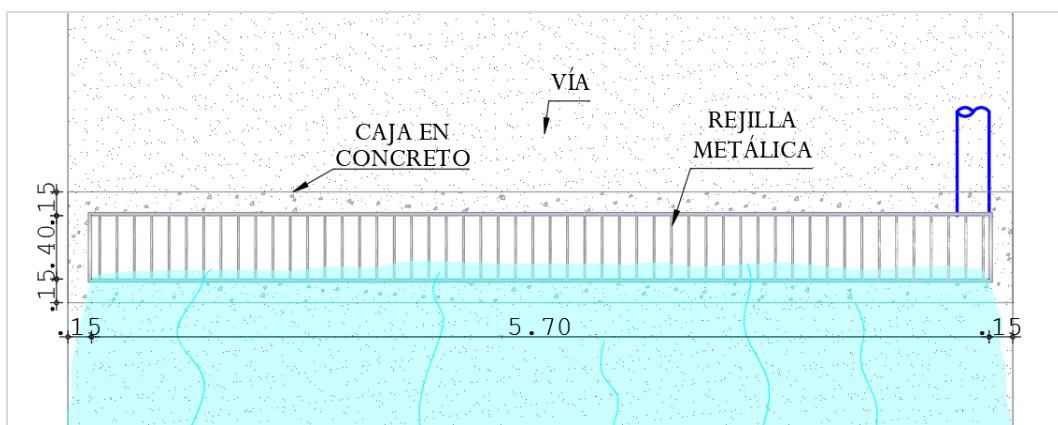


Figura 42. Vista en planta sumidero transversal

Fuente: Elaboración propia

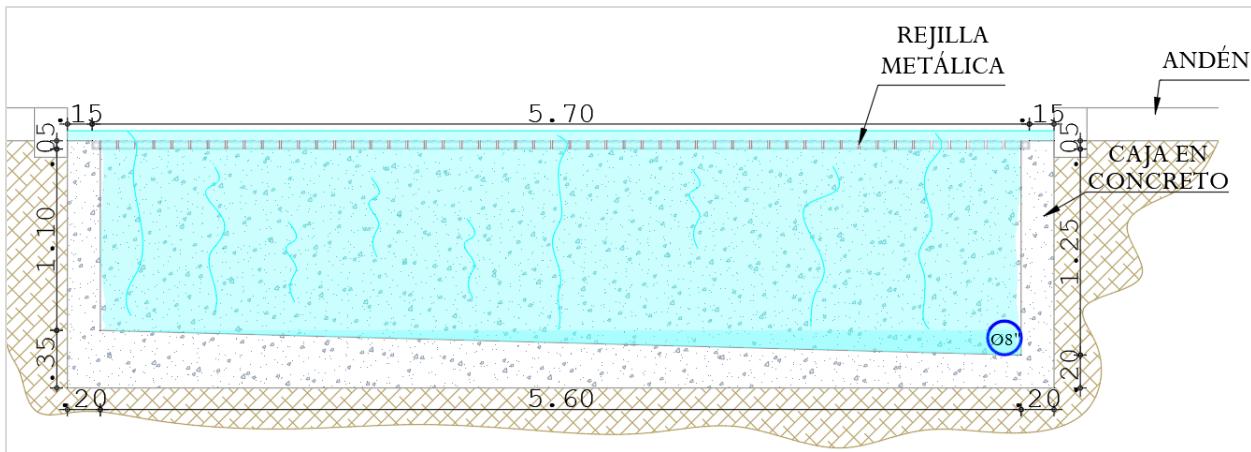


Figura 43. Sección longitudinal sumidero transversal

Fuente: Elaboración propia

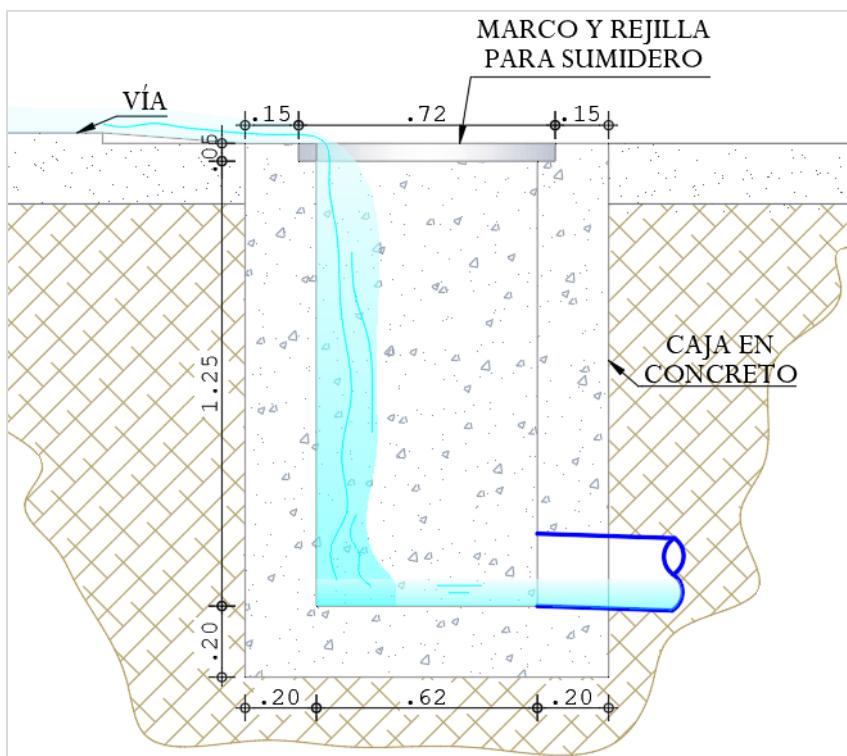


Figura 44. Sección transversal sumidero transversal

Fuente: Elaboración propia

5.5.1. Metodología de Russo, Gómez y Téllez

La campaña experimental de la metodología mencionada, se realizó utilizando una instalación a gran escala con una plataforma que simula un carril de tráfico, donde se instalaron y ensayaron entradas ranuradas; las entradas fueron

seleccionadas basadas sobre los resultados de un estudio previo que involucra 11 rejillas (Burgi & Gober, 1977) (Russo, Gómez, & Téllez, 2013)

La estimación de la eficiencia por el sumidero transversal está dada por la siguiente ecuación

$$E = \alpha F \left(\frac{y}{L} \right)^{0.812} + \beta \quad (46)$$

Donde:

- ❖ α y β dependen de las características geométricas de las rejillas analizadas.
- ❖ L = longitud efectiva (longitud de la abertura de la rejilla en la dirección del flujo).
- ❖ y =profundidad de flujo normalizada relacionada con L y calculado inmediatamente aguas arriba de la parrilla.
- ❖ F = número de Froude.

Solución

Para realizar esta metodología lo primero que se debe tener en cuenta es el tipo de rejilla con que se va a trabajar, en esta investigación se va utilizar el tipo 1 dejando la ecuación de la eficiencia en función de la longitud para encontrar una que sea del 100% de captación.

Tabla 27. Variables según tipo de rejilla ensayada

Tipo de rejilla							
	1	2	3	4	5	6	7
α	-0.882	-0.799	-0.544	-0.774	-1.292	-1.289	-1.209
β	1.209	1.215	0.861	1.03	1.187	1.279	1.201
R^2	0.872	0.928	0.89	0.898	0.885	0.952	0.969

Fuente: (Russo, Gómez, & Téllez, 2013)

❖ **Longitud punto de control 3**

$$100\% = -0.882 * 1.2841 \left(\frac{0.10}{L}\right)^{0.812} + 1.209 \quad L = 0.80 \text{ m}$$

❖ **Longitud punto de control 4**

$$100\% = -0.882 * 1.0393 \left(\frac{0.10}{L}\right)^{0.812} + 1.209 \quad L = 0.62 \text{ m}$$

❖ **Longitud punto de control 5**

$$100\% = -0.882 * 0.6065 \left(\frac{0.11}{L}\right)^{0.812} + 1.209 \quad L = 0.35 \text{ m}$$

❖ **Longitud punto de control 6**

$$100\% = -0.882 * 0.5634 \left(\frac{0.11}{L}\right)^{0.812} + 1.209 \quad L = 0.30 \text{ m}$$

❖ **Longitud punto de control 7**

$$100\% = -0.882 * 0.484 \left(\frac{0.12}{L}\right)^{0.812} + 1.209 \quad L = 0.29 \text{ m}$$

❖ **Longitud punto de control 7**

$$100\% = -0.882 * 0.4031 \left(\frac{0.12}{L}\right)^{0.812} + 1.209 \quad L = 0.23 \text{ m}$$

Tabla 28. Dimensionamiento sumidero transversal metodología de Russo Gómez y Téllez

Punto control	Caudal		Longitud sumidero transversal metodología de Russo, Gomez y Tellez- Rejilla tipo 1								
	Q diseño	Q diseño	y1	y2	T	AT	V	DH	F		L
	(l/s)	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m2)	(m/s)	(m)			(m)
P3	199,95	0,2000	0,06	0,035	3	0,195	1,03	0,065	1,2841	0,80	
P4	161,84	0,1618	0,06	0,035	3	0,195	0,83	0,065	1,0393	0,62	
P3 - P4											
P5	126,53	0,1265	0,06	0,049	3	0,237	0,53	0,079	0,6065	0,35	
P6	117,55	0,1175	0,06	0,049	3	0,237	0,5	0,079	0,5634	0,30	
P5 - P6											
P7	122,79	0,1228	0,06	0,06	3	0,27	0,45	0,09	0,484	0,29	
P8	102,25	0,1023	0,06	0,06	3	0,27	0,38	0,09	0,4031	0,23	
P7 - P8											

Fuente: Elaboración propia

COMENTARIOS FINALES

A lo largo de los diferentes capítulos de este documento se hizo un desglose metodológico de las ecuaciones de diseño existente y sus diferentes formas de aplicación para obtener las dimensiones físicas más importantes en el diseño de los sumideros para la captación de la escorrentía superficial escurrida sobre las vías, teniendo en cuenta las distintas tipologías, pero es necesario aclarar que además de existir una metodología que permita diseñar o calcular estas dimensiones, siempre será indispensable aplicar el criterio ingenieril a los distintos resultados obtenidos en los cálculos realizados y en conjunto con este criterio se debe aplicar la lógica y la razón basadas en conceptos de mantenimiento de las estructuras diseñadas, la forma o método de construcción y los materiales a implementar en las obras de ingeniería.

Asimismo, es indispensable mencionar que algunos de los parámetros previos y necesarios para el diseño de sumideros, no son explicados de manera explícita, ya que estos conceptos son considerados como básico y se sobrentienden como conocimientos previos que deben ser parte de la formación integral de los estudiantes de ingeniería y del profesional que buscan profundizar en esta temática específica.

Por último, es preciso motivar a los estudiantes y los profesionales, a seguir implementando la investigación académica y profesional que permita mejorar y optimizar las metodologías existentes, con el fin de cerrar la brecha existente entre los modelos físicos reales y los modelos matemáticos aproximados que pretenden simular los procesos naturales.

BIBLIOGRAFÍA

Agua Alcantarillado y Aseo de Bogotá (EAB). (2016). *Buen uso del sistema de alcantarillado*. Bogotá.

Aparicio Mijares, F. J. (1989). *Fundamentos de hidrología de superficie*. México: Grupo Noriega Editores.

Aragón Hernández, J. L. (2013). *Modelación numérica integrada de los procesos hidráulicos en el drenaje urbano*. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya.

Barbosa Martínez, S. (2018). *Guía para determinar el uso de vías peatonales y vehiculares en zonas urbanas en sectores de media ladera con altas pendientes longitudinales*. Bogotá: Universidad de los Andes.

Batista Delgado, C., & González González, B. (2018). *Estudio sobre dimensionamiento de redes de saneamiento para obras de urbanización en Andalucía*. Sevilla: Universidad de Sevilla.

Blanco Giraldo, M., & Molina Fernández, J. R. (2015). *Diagnóstico preliminar de las condiciones ambientales en las estructuras de sumideros ubicados en los barrios Granada y Girardot de la ciudad de Bucaramanga, Santander*. Bucaramanga: Universidad Nacional Abierta y a Distancia.

Bolinaga I., J. J., & Franceschi A., L. E. (1979). *Drenaje urbano*. Venezuela: Instituto Nacional de Obras Sanitarias de Venezuela.

Burgi, P. H., & Gober, D. E. (1977). *Bicycle-safe grate inlets study, Hydraulic and safety characteristics of selected grate inlets on continuous grades*. Washington D.C: Federal Highway Administration.

Cadavid, J. H. (2006). *HIDRÁULICA DE CANALES ABIERTOS*. Medellín: Universidad EAFIT.

Centro de Investigaciones en Acueductos y Alcantarillados CIACUA. (2009).

Sumideros en alcantarillados de aguas lluvias. Diseños típicos utilizados en Colombia y mecanismos de retención de sólidos. Bogotá: Universidad de los Andes.

CIRIA. (2007). *The SuDS manual*. Londres: CIRIA.

Comisión Nacional del Agua. (2007). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Cruz Parra, K. A., & Castellanos Villarreal, R. R. (2017). *Acompañamiento en el diseño, construcción y puesta en marcha del equipo de ahuellamiento en el laboratorio de pavimentos de la Universias de la Salle*. Bogotá: Universidad de la Salle.

del Valle Moreno, A., Pérez López, T., & Maerínez Madrid, M. (2001). *El fenómeno de la corrosión en estructuras de concreto reforzado*. México: Secretaría de comunicaciones y transportes Instituto Mexicano del Transporte.

Empresa Pública de Medellín (EPM). (2019). *Norma de Construcción: Sumideros*. Medellín.

Empresas Municipales de Cali. (2012). *Sumideros y/o captación superficial de aguas lluvias en vías urbanas*. Cali.

Empresas Públicas de Medellín E.S.P. (EPM). (2013). *Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de las Empresas Públicas de Medellín*. E. S. P. Medellín: EPM.

FHWA. (2013). *Urban Drainage Design Manual*.

Franco Calderón, L. J. (2015). *Elementos convencionales y no convencionales para la captación del drenaje urbano de aguas lluvias*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

Franco Calderón, L. J. (2015). *Elementos convencionales y no convencionales para la captación del drenaje urbano de aguas lluvias*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

Galvis, L. C. (2004). *Propuesta metodológica para la ubicación y dimensionamiento de sumideros de captación de escorrentía superficial y análisis de su comportamiento hidráulico*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.

Giraldo Gómez, E. (2000). *¿Combinar o separar? una discusión con un siglo de antiguedad y de gran actualidad para los Bogotanos* (Vol. 11). Revista de Ingeniería.

Guayambuco Quintero, V., & Collazos Díaz, L. (2010). *Comparación de diseños de sumideros según normas establecidas por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.

ICONTEC. (2004). *Código Colombiano de Fontanería*. Bogotá.

INVIAS. (2009). *Manual de Drenaje para Carreteras*. Ministerio de Transporte .

Johns Hopkins University. (1956). *The Desing of Stormwater inlets, Report of the Storm Drainage Community*.

Lamus Báez, F., & Andrade Pardo, S. (2015). *Concreto reforzado: Fundamentos*. Bogotá: ECOE EDICIONES.

Lizarazo Becerra, J. M., & Orjuela Gutiérrez, M. I. (2013). *Sistemas de plantas de tratamiento de aguas residuales en Colombia*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Materón, H. (1997). *Obras hidráulicas rurales*. Cali: Universidad del Valle.

Metcalf, L., & Harrison Prescott , E. (2018). *American Sewerage Practice*. Sagwan Press.

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2017). *Resolución 0330 del 08 de junio del 2017*. Colombia.

Ministerio del Agua Viceministerio de Servicios Básicos. (2007). *Reglamento tecnico de diseño de sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial*. Bolivia.

Mora Palma, A. X. (2013). *Las aguas negras y su incidencia en la calidad de vida de los habitantes del barrio Juan Montalvo, sector de los trabajadores municipales del Cantón Puyo Provincia de Pastaza*. Ambato, Ecuador.

Olivero, H. (1963). *Desarrollo de los sistemas urbanos de abastecimiento de agua y alcantarillado en America Latina*. Boletín de la Oficina Sanitaria Panamericana (OSP).

Pérez Carmona, R. (2013). *Diseño y construcción de alcantarillados sanitario, pluvial y drenaje en carreteras*. Bogotá: ECOE EDICIONES.

Pérez López, J. A. (2015). *CÁLCULO DEL CAUDAL DE CRECIENTE POR EL MÉTODO RACIONAL EN EL CAÑO PAVAS EN LA VEREDA DE VELÁZQUEZ EN EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ*. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Pozuelos Aquino, R. G. (2018). *Diseño de los sistemas de alcantarillado pluvial en la octava calle, Zona 1 y Boulevard Carmen Guillén, Zona 4, Villa Nueva, Guatemala*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.

Prada Forero, O. J. (2009). *Estado del arte de diseño de sumideros en sistemas de alcantarillado en Colombia*. Bogotá: Universidad de la Salle .

Quiroga Chinza, A. F. (2016). *Modelamiento tridimensional con fines didácticos de estructuras hidráulicas del sistema de acueducto y alcantarillado*. Bogotá: Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas.

- Rafael Pérez Carmona. (2013). *Diseño y construcción de alcantarillados sanitario, pluvial y drenaje en carreteras*. Bogotá: ECOE EDICIONES.
- Ramos Soberanis, A. N. (2004). *Metorologías matriciales de evaluación ambiental para países en desarrollo: Matriz de Leopold y método Mel-Enel*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Rocha Felices, A. (2007). *Hidráulica de tuberías y canales*. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Rodríguez Arbelo, A. M. (2017). *S.U.D.S.: Hacia una gestión integral del ciclo urbano del agua*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Rodríguez Díaz, H. A. (2005). *Diseños hidráulicos, sanitarios y de gas en edificaciones*. Bogotá: Escuela colombiana de ingeniería.
- Rodríguez Ruiz, P. (2005). *Ingeniería sanitaria y alcantarillado*. Oaxaca, México: Instituto Tecnológico de Oaxaca.
- Rojas Betancourt, D. (2016). *¿Se justifica la separación de alcantarillado en la ciudad de Bogotá?* Bogotá: Universidad de los Andes.
- Russo, B., Gómez, M., & Téllez, J. (2013). *Metodología para estimar la eficiencia hidráulica de rejillas transversales continuas no probadas* (Vol. 139). Sociedad Estadounidense de Ingenieros Civiles.
- Sañudo Fontaneda, L. A., Rodriguez Hernandez, J., & Castro Fresno, D. (2012). *Diseño y Construcción de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)*. Cantabria: Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Cantabria.
- Serna Rodríguez, M. A. (2002). *Estado del arte en nuevas tecnologías de inspección y limpieza de sistemas de alcantarillado y su efecto en el diseño y la normatividad de pozos de inspección*. Bogotá: Universidad de los Andes.

Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado. (2007).

Criterios y lineamientos técnicos para factibilidades: Alcantarillado pluvial.

Guadalajara: SIAPA.

Subramanya, K. (2015). *Flow in open channels*. Nueva York: Tata McGraw-Hill.

Tarazona Tobo, L. V., Bonilla Granados, C. A., & Rojas Suárez, J. P. (2021).

Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS): Una alternativa integral para el manejo de las aguas lluvias (Vol. 11). Cúcuta: Mundo Fesc.

Texas Department of Transportation. (2002). *Hydraulics and Desing Manual*.

Unda Araya, P. (2016). *EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO HIDRÁULICO DE SUMIDEROS UBICADOS EN LA CALLE GENERAL NOVOA, CONCEPCIÓN*. Concepción, Chile.

Valenzuela, M. (2003). *El asfalto, en la conservación de pavimentos*. Valdivia, Chile.

Como resultado de una consulta minuciosa en la literatura existente sobre hidrología e hidráulica y los distintos elementos que componen los sistemas de drenaje urbano, específicamente aquellos que tienen el objetivo de captar la escorrentía producida por el agua lluvia, se presenta como resultado este documento, en el cual se encuentra un compendio de las diversas tipologías de sumideros de captación de agua lluvia, así como las metodologías más usadas para el dimensionamiento de los mismos, teniendo en cuenta parámetros relacionados con el flujo y las condiciones de la zona de análisis, brindando una herramienta de estudio a estudiantes de ingeniería y profesionales que así lo requieran.

Dirigido a estudiantes de ingeniería civil y ambiental, o interesados en aprender sobre las estructuras y sistemas de Drenaje Urbano.

Jarol Derley Ramón Valencia.

Ingeniero de Recursos Naturales y del Ambiente. Especialista en Pedagogía Universitaria. Magíster en Ingeniería Ambiental. Doctor en Ingeniería Ambiental. Docente de la Universidad de Pamplona. Investigador del Grupo de Investigaciones Ambientales Agua, Aire y Suelo (GIAAS). Consultor en proyectos de Contaminación atmosférica, Climatología, meteorología Y Cambio Climático.

Contacto: jarol.ramon@unipamplona.edu.co



Sumideros de captación de aguas lluvias

Biografías

Carlos Alexis Bonilla Granados.

Ingeniero civil, Especialista en Patología de la construcción, Especialista en Aguas y Saneamiento Ambiental, Magíster en Tecnologías para el Manejo de Aguas y Residuos y estudiante de Doctorado en Ingeniería del Agua y Medioambiente. Docente de la Universidad de Pamplona. Investigador Grupos de Investigación Etenoha, Hydros y Fluing. Consultor en proyectos de saneamiento básico y recursos hídricos.

Contacto: Carlos.bonilla@unipamplona.edu.co

Jacipt Alexander Ramón Valencia.

Ingeniero Químico. Magíster en gestión y tratamiento del agua y Gestión Integrada Riesgos Calidad y Medio Ambiente. Doctor en Ingeniería Química. Docente de la Universidad de Pamplona. Investigador del Grupo de Investigaciones Ambientales Agua, Aire y Suelo (GIAAS). Consultor en proyectos de Biotecnología Ambiental, Gestión y tratamiento del agua, gestión del riesgo y Cambio Climático.

Contacto: jacipt@unipamplona.edu.co