

**NORMA TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE AGUAS
RESIDUALES Y LLUVIAS**

NDI-SE-RA-007/V3.0

**CRITERIOS DE DISEÑO EN SISTEMAS DE
ALCANTARILLADO**



Código	NDI-SE-RA-007
Estado	VIGENTE
Versión	3.0 – 29/08/2025
Fuente	GUENA – EMCALI – DISEÑO
Tipo de Documento	NORMA TECNICA DE SERVICIO
Tema	RECOLECCIÓN DE AGUAS RESIDUALES Y LLUVIAS
Comité	COMITÉ TÉCNICO AGUA DE APROBACIÓN DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO

Título	CRITERIOS DE DISEÑO EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO
---------------	--

ÍNDICE

	Pág.
1. PROLOGO	5
2. OBJETO	6
3. ALCANCE	6
4. DEFINICIONES	6
5. REFERENCIAS NORMATIVAS	9
6. REQUISITOS	10
6.1 CONDICIONES GENERALES	10
6.1.1 Trámites previos	11
6.2 METODOLOGIA PARA LA ELABORACIÓN Y PRESENTACION DE PROYECTOS	12
6.2.1 Informe técnico del proyecto	12
6.2.2 Estudios previos	13
6.2.3 Concepción del proyecto	15
6.3 ASPECTOS COMUNES DE LOS SISTEMAS DE RECOLECCION Y MANEJO DE AGUAS RESIDUALES Y/O LLUVIAS	15
6.3.1 Actividades preliminares	15
6.3.2 Componentes del sistema	18
6.3.3 Parámetros de diseño	19
6.3.4 Materiales para ductos en sistemas de alcantarillado	23
6.4 ALCANTARILLADO SANITARIO	23
6.4.1 Parámetros de diseño aguas residuales	23
6.4.2 Período de diseño	23
6.4.3 Usuarios y Población	23
6.4.4 Contribuciones de aguas residuales	24
6.4.5 Caudal de aguas residuales domésticas (Q_D)	24
6.4.6 Caudal de aguas residuales industriales (Q_I)	25
6.4.7 Caudal de aguas residuales comerciales (Q_C)	25
6.4.8 Caudal de aguas residuales de uso oficial y uso especial (Q_{OF})	26
6.4.9 Caudal de aguas residuales por conexiones erradas (Q_{CE})	26
6.4.10 Caudales por infiltración (Q_{INF})	26
6.4.11 Caudal medio diario de aguas residuales	27
6.4.12 Caudal máximo horario final (Q_{MHf})	27
6.4.13 Factor de mayoración (F)	28
6.4.14 Caudal de diseño	28
6.4.15 Características de las aguas residuales	28

6.4.16	Tamaño de los Conductos	29
6.4.17	Materiales susceptibles a corrosión por sulfuros	29
6.5	ALCANTARILLADO PLUVIAL	30
6.5.1	Parámetros de diseño aguas lluvias	30
6.5.2	Período de diseño	30
6.5.3	Período de retorno de la lluvia	30
6.5.4	Áreas de drenaje	31
6.5.5	Caudal de diseño	31
6.5.6	Medidas de control de aguas lluvias sostenibles y/o mejores prácticas de manejo de aguas lluvias (BMPs) y/o métodos alternativos de aguas lluvias.	38
6.5.7	Canales en sistemas de drenaje	38
6.6	ALCANTARILLADO COMBINADO	42
6.6.1	Caudal de diseño	42
6.6.2	Parámetros de diseño	43
6.7	HIDRAULICA DE LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADO	43
6.7.1	Régimen de flujo para el diseño hidráulico de tuberías parcialmente llenas	43
6.7.2	Flujo Uniforme	44
6.7.3	Flujo gradualmente variado	49
6.7.4	Flujo no permanente en sistemas de alcantarillado	53
6.8	VIGENCIA DE APROBACION A LOS DISEÑOS EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO	55
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
8.	ANEXOS	58

1. PROLOGO

La Unidad Estratégica de los Negocios de Acueducto y Alcantarillado - UENAA ha establecido el Área Funcional Sistema de Normas y Especificaciones Técnicas para gestionar el desarrollo y la actualización de las normas y especificaciones técnicas a ser utilizadas por el personal de EMCALI EICE ESP, contratistas, consultores, usuarios y otras partes interesadas. La misión principal del área, consiste en la normalización de los procesos, productos y servicios, para estar acorde con el estado del arte tecnológico y las exigencias gubernamentales, en beneficio de los diferentes sectores que participan en el desarrollo de la infraestructura del entorno y de la comunidad en general.

La versión final de esta Especificación Técnica fue revisada y aprobada a través de los Comités Técnico y de Aprobación y ordenada su Publicación y Cumplimiento mediante la resolución de Gerencia General de EMCALI EICE ESP No. GG-001255 del 12 de Julio de 2011.

2. OBJETO

Definir las directrices para el diseño de sistemas de alcantarillado pluvial, sanitario y combinado de la ciudad de Cali, tanto para expansión como rehabilitación

3. ALCANCE

Establecer las actividades preliminares, la estimación de caudales, criterios y formulación para análisis hidráulico y bases para localización y optimización de estructuras complementarias para el diseño de sistemas de alcantarillado de EMCALI EICE ESP.

4. DEFINICIONES

4.1. AGUAS DE INFILTRACIÓN

Aguas provenientes del subsuelo, que pueden ingresar en el alcantarillado.

4.2. AGUAS LLUVIAS

Aguas provenientes de la precipitación pluvial.

4.3. AGUAS RESIDUALES

Desechos líquidos provenientes de residencias, edificios, instituciones, fábricas o industrias.

4.4. AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

Desechos líquidos provenientes de la actividad doméstica en residencias, edificios e instituciones.

4.5. AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

Desechos líquidos provenientes de las actividades industriales.

4.6. ALCANTARILLADO DE AGUAS COMBINADAS

Sistema compuesto por todas las instalaciones destinadas a la recolección y transporte, tanto de las aguas residuales como de las aguas lluvias.

4.7. ALCANTARILLADO DE AGUAS LLUVIAS

Sistema compuesto por todas las instalaciones destinadas a la recolección y transporte de aguas lluvias.

4.8. ALCANTARILLADO DE AGUAS RESIDUALES

Sistema compuesto por todas las instalaciones destinadas a la recolección y transporte de las aguas residuales domésticas, industriales, comerciales e institucionales.

4.9. ALCANTARILLADO SEPARADO

Sistema constituido por un alcantarillado de aguas residuales y otro de aguas lluvias que recolectan y transportan en forma independiente en un mismo sector.

4.10. ÁREA TRIBUTARIA

Superficie que drena hacia un tramo o punto determinado.

4.11. CÁMARA DE INSPECCIÓN

Estructura construida para la unión de uno o más tramos de redes de alcantarillado, con el fin de permitir cambios de alineamiento horizontal y vertical en el sistema, cambios de diámetro y en muchos casos la inspección y limpieza de la red.

4.12. CAUDAL DE DISEÑO

Caudal para el cual el sistema debe satisfacer los requerimientos hidráulicos.

4.13. COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA

Relación que existe entre la escorrentía y la cantidad de agua lluvia que cae en una determinada área.

4.14. COEFICIENTE DE RETORNO

Relación que existe entre el caudal medio de aguas residuales y el caudal medio de agua que consume la población.

4.15. COEFICIENTE DE RUGOSIDAD

Parámetro que representa el efecto friccional del contorno del conducto sobre el flujo y en general depende del tipo de material del conducto.

4.16. COTA DE BATEA

Nivel del punto más bajo de la sección transversal interna de una tubería o colector.

4.17. COTA DE CLAVE

Nivel del punto más alto de la sección transversal externa de una tubería o colector.

4.18. DENSIDAD DE POBLACIÓN

Número de personas que habitan dentro de un área bruta o neta determinada.

4.19. DIÁMETRO INTERNO REAL

Diámetro interno de una tubería determinado con elementos de medición apropiados.

4.20. DIÁMETRO NOMINAL

Diámetro utilizado como especificación comercial de las tuberías. En algunos materiales su valor no coincide con el diámetro interno real de éstas.

4.21. DOTACIÓN

Cantidad de agua promedio diaria por persona o por usuario que suministra el sistema de acueducto, expresada en litros por persona por día o metros cúbicos por usuario por mes.

4.22. ESCORRENTÍA

Porción de las aguas lluvias que no es retenida por el terreno y escurre sobre la superficie.

4.23. ESFUERZO CORTANTE MÍNIMO

Representa el valor mínimo de fuerzas cortantes que deben actuar sobre la pared de un conducto para que se presenten condiciones de autolimpieza.

4.24. ESTRUCTURAS COMPLEMENTARIAS

Son todas aquellas estructuras especiales diferentes a las tuberías que hacen parte de un sistema de alcantarillado.

4.25. FLUJO UNIFORME

Flujo en el cual la profundidad de agua es la misma en cada sección de un conducto.

4.26. FRECUENCIA

En hidrología, número de veces que en promedio se presenta un evento con una determinada magnitud, durante un periodo definido.

4.27. HIDROGRAMA

Gráfica que representa la variación del caudal con el tiempo en un sitio determinado, que describe usualmente la respuesta hidrológica de un área de drenaje a un evento de precipitación.

4.28. LÍNEA DE ENERGÍA

Línea o elevación obtenida como la suma de la altura de presión, la altura de velocidad y la diferencia de altura topográfica respecto a un datum o nivel de referencia.

4.29. MÉTODO RACIONAL

Método de cálculo que permite definir el caudal pico máximo de aguas lluvias con base en la intensidad media del evento de precipitación con una duración igual al tiempo de concentración del área de drenaje y un coeficiente de escorrentía.

4.30. PENDIENTE

Inclinación longitudinal de un canal o ducto.

4.31. PÉRDIDAS MENORES

Pérdida de energía causada por las estructuras complementarias que hacen parte del sistema de alcantarillado.

4.32. PÉRDIDAS POR FRICCIÓN

Pérdida de energía causada por los esfuerzos cortantes generados por la interacción entre el flujo de agua y las paredes de un conducto.

4.33. PERÍODO DE RETORNO

Número de años que en promedio la magnitud de un evento extremo es igualada o excedida.

4.34. POBLACIÓN SERVIDA

Número de habitantes que son servidos por un sistema de abastecimiento y evacuación de aguas residuales.

4.35. PROFUNDIDAD DEL COLECTOR

Diferencia de nivel entre la superficie del terreno o la rasante de la calle y la cota clave de la red de alcantarillado.

4.36. PROFUNDIDAD HIDRÁULICA

Relación entre el área mojada de un conducto que transporta algún fluido y su perímetro mojado.

4.37. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Tiempo de recorrido de la escorrentía superficial desde el punto más alejado de la cuenca de drenaje hasta el punto de salida considerado. En alcantarillados es la suma del tiempo de entrada y de recorrido.

5. REFERENCIAS NORMATIVAS**EMPRESAS MUNICIPALES DE CALI - EMCALI EICE E.S.P.**

----- Conexiones domiciliarias de alcantarillado. EMCALI EICE E.S.P. (NCO-SE-RA-003)

----- Criterios de diseño de estaciones de bombeo de alcantarillado. EMCALI EICE E.S.P. (NDI-SE-RA-008)

----- Criterios para selección de materiales de tuberías para redes de acueducto y alcantarillado. EMCALI EICE E.S.P. (NDI-SE-AA-018)

----- Cunetas de drenaje superficial. EMCALI EICE E.S.P. (NDC-SE-RA-002)

----- Directrices para la ejecución de levantamientos topográficos y geomáticos. EMCALI EICE E.S.P. (NDI-SE-AA-015)

----- Plan de manejo ambiental para la elaboración de diseños definitivos de redes matrices de acueducto, colectores de alcantarillado pluvial y sanitario y redes secundarias de acueducto y alcantarillado. EMCALI EICE E.S.P. (NPL-SE-AA-021)

----- Cámaras de inspección. EMCALI EICE E.S.P. (NDC-SE-RA-001)

----- Requerimientos para cimentación de tuberías en redes de acueducto y alcantarillado. EMCALI EICE E.S.P. (NDI-SE-AA-016)

----- Sumideros y/o captación superficial de aguas lluvias en vías urbanas. EMCALI EICE E.S.P. (NDC-SE-RA-015)

----- Tubería para alcantarillado. EMCALI EICE E.S.P. (NDC-PM-RA-017)

MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO:

- La Resolución 799 de 2021, por la cual se modifica el Reglamento Técnico de Agua y Saneamiento (RAS) - Resolución 0330 de 2017 expedida por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio “Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009”. Versión vigente y sus posteriores actualizaciones.
- Resolución 0501 de 4 de agosto de 2017, expedida por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio – REGLAMENTO TÉCNICO DE TUBERÍAS Y ACCESORIOS “Por la cual se expiden los requisitos técnicos relacionados con composición química e información, que deben cumplir los tubos, ductos y accesorios de acueducto y alcantarillado, los de uso sanitario y los de aguas lluvias, que adquieran las personas prestadoras de los servicios de acueducto y alcantarillado, así como las instalaciones hidrosanitarias al interior de las viviendas y se derogan las Resoluciones 1166 de 2006 y 1127 de 2007”

MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO.

Decreto 2269 de 1993: Por el cual se organiza el sistema nacional de normalización, certificación y metrología. Bogotá: MinDesarrollo, 1993

6. REQUISITOS**6.1 CONDICIONES GENERALES**

Las Normas presentes son de rigor, tanto para los proyectistas particulares de sistemas parciales de Alcantarillado para Urbanizaciones, para diseños propios elaborados al interior de EMCALI EICE ESP, para los Consultores contratados por EMCALI, como para los funcionarios de entidades oficiales que tengan a su cargo la elaboración de proyectos, siempre y cuando no contradigan el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básicos RAS – vigente.

Esta norma es aplicable al diseño de redes secundarias, colectores, interceptores y canales.

En caso de presentarse contradicciones entre lo expresado en esta Norma y el RAS, primará el concepto técnico del RAS.

Todo aquello que esté establecido en el RAS expedido por el Ministerio de Desarrollo Económico y que no esté contenido en estas Normas, deberá ser tenido en cuenta para su cumplimiento.

Aunque las Normas en general se deben cumplir en el diseño de todo proyecto de alcantarillado, se podrán aplicar criterios diferentes cuando:

- Se demuestre que dicho criterio responde a una metodología o parámetros que apliquen con mayor exactitud al caso de estudio, lo cual será debidamente sustentado con el respaldo de la documentación técnica.
- Exista otra normatividad establecida por una autoridad superior (sanitario o ambiental) que entre en conflicto con una o varias de las especificaciones aquí contenidas, en cuyo caso se consultará por escrito al Comité Técnico de Normalización y se obtendrá la aprobación por parte del Comité de aprobación.
- Sea necesario consignarlos específicamente en los términos de referencia de Contratos de Consultoría de proyectos de características especiales.

- Los exija la Unidad Estratégica de Negocio de Acueducto y Alcantarillado a través de los profesionales encargados de la revisión y aprobación de los proyectos puestos a su consideración.

Salvo las excepciones descritas, los proyectistas, a menos que la Unidad Estratégica de Negocio de Acueducto y Alcantarillado indique lo contrario, deberán ajustarse a la presente Norma.

“La aprobación dada por la Unidad Estratégica de Negocio de Acueducto y Alcantarillado a un proyecto de Acueducto y/o Alcantarillado, incluyendo los sistemas de bombeo y otras estructuras hidráulicas, no exonera al urbanizador o propietario de las obras de la responsabilidad y obligación legal y técnica que le compete en la correcta elaboración de sus estudios y su aplicabilidad a las condiciones específicas en donde se ejecutarán las obras; por tanto cualquier cambio o complemento, modificación o adición que deba efectuarse al proyecto aprobado a solicitud de la Unidad Estratégica de Negocio de Acueducto y Alcantarillado y si a su vez implica cambios a lo construido o instalado deberá ser ejecutado en su totalidad por cuenta del Urbanizador o propietario de las obras a quien la UENAA aprobó el proyecto, así se haya vendido o entregado a terceros o a la UEN de Acueducto y Alcantarillado las obras correspondientes.”

Queda entendido que con el solo hecho de presentar el proyecto a revisión y aprobación de la Unidad Estratégica de Negocio de Acueducto y Alcantarillado se tiene por conocida y aceptada esa responsabilidad y obligación.

Lo anterior debe quedar respaldado por una póliza de Garantía de Calidad y/o Buen Funcionamiento de los diseños, según las Normas Técnicas establecidas para los Sistemas de Acueducto y Alcantarillado; contratada con una compañía de seguros legalmente establecida en Colombia, con vigencia de cinco (5) años a partir de la entrega de los diseños, una vez aprobados; por un valor asegurado equivalente al treinta (30) por ciento del costo total de las obras.

Todo diseño debe cumplir con los requisitos, parámetros y normas técnicas establecidas por EMCALI, garantizando su funcionamiento adecuado, calidad, eficiencia, seguridad, durabilidad, sostenibilidad y redundancia, para lo cual fue realizado.

Los cálculos hidráulicos se deben realizar para cualquier tipo de intervención en la red, tales como ampliación, rehabilitación, renovación y extensión.

En los casos no considerados en esta Norma, la UENAA consultará Organismos, Códigos y Normas Nacionales e Internacionales y se regirá por las leyes nacionales vigentes en materia de comercialización y aceptación del uso de materiales nacionales e importados.

6.1.1 Trámites previos

Para la elaboración de los diseños de redes de alcantarillado, los interesados deben dirigirse al Departamento de Ingeniería de la UENAA, dependencia encargada del estudio y aprobación de los diseños de redes.

Los trámites previos a seguir para adelantar los diseños del Sistema de redes de Alcantarillado son los siguientes:

6.1.1.1 Consulta de factibilidad, viabilidad y/o disponibilidad de prestación de servicios públicos.

Solicitar al Departamento de Planeación de la Unidad Estratégica de Negocios de Acueducto y Alcantarillado, mediante Formato de Consulta (Anexo 1) la Factibilidad, Viabilidad y/o Disponibilidad de prestación de los servicios de Acueducto y Alcantarillado para el lote a urbanizar o proyecto a desarrollar, para lo cual debe acompañar un plano o esquema claro de localización del lote o proyecto.

Cuando la UENAA lo considere necesario, este plano deberá contener coordenadas y curvas de nivel, referenciadas al plano de Santiago de Cali. La distancia vertical entre curvas dependerá de la pendiente del terreno, de acuerdo con lo mostrado en la Tabla 1.

TABLA 1. Distancia entre curvas según terreno

PENDIENTE DEL TERRENO (%)	DISTANCIA VERTICAL ENTRE CURVAS DE NIVEL (m)
0.00 - 1.00	0.50
1.01 - 10.00	1.00
≥ 10.01	2.00

El formato de consulta de Factibilidad, Viabilidad y/o Disponibilidad Prestación de Servicios acompañada del Plano se debe radicar en la Ventanilla Única de EMCALI EICE ESP, localizada en el Centro Administrativo Municipal - CAM.

Para los casos de Viabilidad y de Factibilidad de Prestación de Servicios se debe adjuntar una (1) copia de la Resolución y Plano del Esquema Básico vigente aprobado por el Departamento Administrativo de Planeación Municipal o Anteproyecto urbanístico aprobado por una Curaduría Urbana, en escala adecuada (entre 1:1000 a 1:500).

La vigencia de la Disponibilidad y la Viabilidad de Prestación de Servicios es de dos (2) años contados a partir de la fecha de su expedición.

La vigencia de la Factibilidad de Prestación de Servicios es de cinco (5) años contados a partir de la fecha de su expedición.

En la Factibilidad, Viabilidad y Disponibilidad de Prestación de Servicios se determinan las condiciones para la prestación de los servicios tales como: densidad de población máxima, necesidad de: sistema especial de abastecimiento interno con tanque de almacenamiento y equipo de presión, obtener de la entidad ambiental competente el permiso de vertimientos y/o ocupación de cauces superficiales, cuando el servicio de alcantarillado no es prestado por EMCALI EICE ESP.

La Viabilidad y Factibilidad de Prestación de Servicios indica la necesidad de diseñar y construir extensiones de red para la prestación de los servicios. El Departamento de Planeación expedirá adicionalmente los Lineamientos básicos para la elaboración de los diseños.

Los Lineamientos pueden incluir bien sea obras ya construidas y en operación u otras de las cuales solamente existan planos y proyectos aprobados por la UENAA.

Con los Lineamientos suministradas por la UENAA, el solicitante realizara el diseño definitivo del proyecto.

6.2 METODOLOGIA PARA LA ELABORACIÓN Y PRESENTACION DE PROYECTOS

6.2.1 Informe técnico del proyecto

Una vez realizado el diseño, el proyectista solicitará la revisión y aprobación al Departamento de Ingeniería de la Unidad Estratégica de Negocios de Acueducto y Alcantarillado, presentando para ello el Informe Técnico.

La presentación para revisión del Informe Técnico de un proyecto de Acueducto y/o Alcantarillado, debe incluir el Formato REV-1 debidamente diligenciado (Ver Anexo 2), y contener los siguientes aspectos:

- Localización: Localización con coordenadas amarradas al sistema IGAC MAGNA – SIRGAS CALI y descripción de las características generales del proyecto.
- Parámetros de diseño: Estarán definidos de acuerdo con las Condiciones Técnicas y/o Lineamientos básicos suministradas por el Departamento de Planeación de la Unidad Estratégica de Negocio de Acueducto y Alcantarillado.
- Trabajos de Campo: Descripción de los trabajos de campo, recopilación ordenada de los Informes obtenidos como base para el diseño.
- Descripción del diseño de obras especiales: Dentro de la descripción del diseño de las obras especiales, se darán razones que justifiquen su empleo.
- Cálculos: se refiere a la elaboración de los Cálculos hidráulicos y estructurales de canales, cámaras, estaciones de bombeo, etc. y de los conductos de red. Se deben indicar claramente todos los valores y parámetros utilizados en la elaboración de cálculos.
- Estudio Topográfico: Acorde con la Norma de EMCALI NDI-SE-AA-015 Directrices para la ejecución de levantamientos topográficos y geomáticos.
- Estudio de Suelos: Acorde con la Norma NDC-SE-GE-001 Requisitos para la elaboración y presentación de estudios geotécnicos y el RAS 2017.
- Constancia de trámite ante la Autoridad Ambiental competente del Estudio de Impacto Ambiental, Plan de Manejo Ambiental o cualquier otro requisito que ésta haya determinado para la ejecución del proyecto.

Será obligación de los proyectistas de obras particulares y consultores contratados por la Unidad Estratégica de Negocio Acueducto y Alcantarillado, presentar:

- Especificaciones para los materiales, equipos y método constructivo de las obras, particularmente en los casos en los cuales no estén incluidas en las Normas de la UENAA.
- Programación general de la obra indicando cronograma de actividades.

Los consultores contratados por la Unidad Estratégica de Acueducto y Alcantarillado presentarán análisis económico de las diferentes opciones y presupuesto detallado de costos con las correspondientes cantidades de obra y análisis de precios unitarios para la alternativa escogida. Para obras particulares, estas se exigirán sólo en los casos especiales a criterio de la UENAA.

Los planos deben presentarse acorde con la Norma NCO-SE-AA-003 Requisitos para la elaboración y entrega de planos e información técnica de obra construida en los sistemas de acueducto y alcantarillado.

6.2.2 Estudios previos

Dependiendo de la magnitud y tipo de proyecto, la UENAA definirá en qué casos se requiere la elaboración de estudios de pre-factibilidad y/o factibilidad.

En todos los casos debe realizarse una investigación de la ubicación precisa de las redes perimetrales existentes, de tal forma que de ser necesaria su reubicación, se considere en el diseño.

Si dicha ubicación no es posible precizarla en la etapa de diseño, en caso de requerirse algún cambio durante la construcción, la misma deberá ser adelantada por el Urbanizador o Constructor durante la construcción.

- **Estudios previos a nivel de pre factibilidad**

En los casos en que la UENAA defina la necesidad de realizar un estudio de factibilidad, deben adelantarse las siguientes actividades:

- Descripción y objeto del proyecto.
- Definición del Área de influencia del diseño; Ubicación del sector en estudio de acuerdo con el POT y ubicación del diseño con respecto a la infraestructura del Sistema de Alcantarillado que opera EMCALI.
- Definición del período de diseño.
- Estudio de población y demanda, según las exigencias de EMCALI EICE ESP.
- Determinación del caudal de diseño.
- Estudio alternativo de rutas de las redes secundarias y colectores.
- Definición de las rutas factibles y definición de la ruta escogida. En esta actividad se debe realizar una comparación de los costos de varias alternativas factibles a fin de determinar la alternativa que tenga menor valor presente de los costos de inversión, operación y mantenimiento.
- Sistema constructivo de instalación de tuberías (Aérea, en zanja, túnel, entre otros).
- Hacer los levantamientos topográficos necesarios en el caso de que no existan planos de levantamiento topográfico o aerofotogramétrico de las áreas de ruta, en escala 1:500 y la distancia vertical entre curvas de nivel dependiendo de la pendiente del terreno, de acuerdo con lo mostrado en la Tabla No 1; Para zonas muy pendientes y extensas, en los planos elaborados para estudios de prefactibilidad se admiten distancias entre curvas de nivel de 5.0 o más metros. EMCALI EICE ESP cuenta con los planos digitalizados de la ciudad de Cali. Para el levantamiento topográfico se deben tener en cuenta las indicaciones de la norma técnica de EMCALI EICE ESP "NDI-SE-AA-015 Directrices para la ejecución de levantamientos topográficos y geomáticos".
- Levantamiento de interferencias. Detalles de las interconexiones: inicial, final y otras cuando sea el caso. Indicación de pasos especiales en vías, líneas férreas u otras.
- Diseño geométrico de la línea, en planta y perfil en escala 1:1000 o 1:500 horizontal y vertical 1:100 o 1:50 respectivamente o en las escalas que para el proyecto en particular exija EMCALI EICE ESP.
- Definición de los materiales a ser utilizados en las tuberías. Para la determinación de los materiales se deben tener en cuenta las normas técnicas de EMCALI EICE ESP "NDI-SE-AA-018 Criterios para selección de materiales de tuberías para redes de acueducto y alcantarillado".
- Estudios de suelos y estudios geotécnicos, ejecución de sondeos y elaboración del perfil estratigráfico del suelo, de acuerdo con las indicaciones de la norma técnica de EMCALI EICE ESP "NDC-SE-GE-001 Requisitos para la elaboración y presentación de estudios geotécnicos".
- Indicación del tipo de estructura en pasos aéreos y subterráneos, métodos constructivos a nivel preliminar y tipos de pavimento de vías públicas.
- Indicación preliminar de los tipos de entibados, cimentación de las tuberías y tipos de rellenos de acuerdo con las normas técnicas de EMCALI EICE ESP "NDC-SE-AA-009 Acodalamiento o entibado y tablestacado", "NDI-SE-AA-016 Requerimientos para cimentación de tuberías en redes de acueducto y alcantarillado" y "NDC-SE-AA-012 Rellenos" respectivamente.

- Indicación preliminar de la necesidad de drenaje de zanjas por bombeo o abatimiento del nivel freático, se deben tener en cuenta las indicaciones de la norma técnica EMCALI EICE ESP "NCO-SE-AA-008 Manejo de aguas en actividades de construcción y mantenimiento de redes"
- Cantidades preliminares de tuberías, estructuras y servicios. Presupuesto preliminar de la obra.
- Elaboración de las Especificaciones Técnicas y documentos de licitación de suministro, teniendo en cuenta la normatividad vigente en EMCALI EICE ESP.
- Registro fotográfico del corredor e interferencias.
- Elaboración de los respectivos informes, documentos y planos.

6.2.3 Concepción del proyecto

Todo diseño de redes de alcantarillado debe formar parte integral del Sistema de Alcantarillado que opera EMCALI EICE ESP y estar acorde con los lineamientos que para servicios públicos defina el Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Cali.

Debe conocer la operación del Sistema de Alcantarillado y en especial el sub-sistema de drenaje del cual forma parte el diseño a realizar, con el objeto de determinar la magnitud del mismo.

El diseño debe definir el objetivo concreto para la elaboración del mismo, el cual debe estar dirigido a solucionar el sistema de drenaje de aguas sanitarias y/o pluviales del sector o proyecto a diseñar, ya sea mediante la ampliación del servicio, reposición, optimización o mejoramiento del sistema.

El diseño debe identificar las características de la población y de la zona de drenaje.

6.3 ASPECTOS COMUNES DE LOS SISTEMAS DE RECOLECCION Y MANEJO DE AGUAS RESIDUALES Y/O LLUVIAS

Para los diseños se debe utilizar el sistema Internacional de Medidas (SI), el cual es de obligatorio cumplimiento en el Territorio Nacional, según "Decreto 2269 de 1993".

6.3.1 Actividades preliminares

6.3.1.1 Plan de Ordenamiento Territorial

Todo desarrollo urbanístico debe cumplir con lo definido en el Plan de Ordenamiento Territorial – POT vigente, para la infraestructura de servicios públicos.

6.3.1.2 Estudios Previos

Para llevar a cabo un proyecto de diseño de sistemas de alcantarillado se deben determinar las condiciones socioeconómicas del sitio de proyecto, con base en información primaria y/o secundaria, su estratificación, su distribución espacial, sus niveles de ingreso y las actividades económicas predominantes. En particular, es necesario establecer el crecimiento y las tendencias de desarrollo de la zona objeto del proyecto. El diseñador es responsable de recolectar y analizar toda la información pertinente para el proyecto.

En este numeral se describen en detalle los estudios previos y la información que debe ser recolectada durante el diseño de un proyecto de sistemas de alcantarillado. En general, se estudian una serie de aspectos específicos relacionados con los sistemas existentes de abastecimiento de agua potable, de recolección de aguas residuales y de drenaje de aguas lluvias necesarios para el desarrollo de un nuevo proyecto de sistemas de alcantarillado o la expansión de éste. y/o la reposición según sea el caso.

6.3.1.2.1 Estudio de la demanda del servicio

El diseñador debe conocer el estudio de la demanda del servicio de acueducto, con base en la demanda de agua potable. También se deben tener en cuenta las consideraciones sobre estimación de caudales en los numerales 6.4, 6.5 y 6.6.

6.3.1.2.2 Descripción de la zona del proyecto

Para el diseño de cualquier sistema de alcantarillado, o uno de sus componentes, se deben tener en cuenta las características físicas de la zona objeto del proyecto. Es así como se deben conocer aspectos climatológicos, geológicos, geotécnicos y topográficos. A continuación, se hace una descripción de la información y estudios previos que deben tenerse en cuenta para conocer las características físicas de la zona del proyecto.

6.3.1.2.3 Climatología

Para el diseño se debe obtener la información de tipo climatológica y meteorológica, que esté vigente, con el fin de determinar las características hidrológicas de la zona del proyecto, en los casos en los cuales se diseñe un sistema de alcantarillado de aguas lluvias o aguas combinadas. Así mismo, se debe conocer las características de los cuerpos receptores en cuanto a crecientes máximas y niveles máximos.

6.3.1.2.4 Condiciones Geológicas

En la elaboración de los diseños se debe identificar y estudiar las condiciones geológicas y las características del subsuelo en la zona del proyecto de alcantarillado. Mediante el uso de planos geológicos, deben identificarse las zonas de falla, de deslizamiento, de inundación y en general todas las zonas que presenten algún problema causado por aspectos geológicos, a partir de los planos de microzonificación sísmica existentes. No se deben aceptar alternativas de diseño que crucen zonas claramente identificadas como zonas de deslizamiento.

En el diseño se debe conocer específicamente el nivel de amenaza sísmica de la zona del proyecto. En particular debe tenerse en cuenta lo establecido en la norma sismorresistente NSR-10 o vigente a la fecha, o aquella que la reemplace, con respecto a los niveles de amenaza sísmica de las diferentes zonas de la ciudad.

6.3.1.2.5 Estudio de Suelos

El estudio geotécnico debe atender la norma técnica de EMCALI EICE E.S.P. “NDC-SE-GE-001 Requisitos para la elaboración y presentación de estudios geotécnicos” y lo establecido en el Capítulo G.2, “Aspectos Geotécnicos” del Título G del RAS 2000, o aquel que lo reemplace. En todo caso se debe considerar la ayuda de un especialista en Geotecnia que indique aquellos estudios adicionales a los mínimos establecidos por el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico.

El estudio geotécnico debe considerar al menos los siguientes aspectos:

- Determinación de la clasificación de los suelos, la permeabilidad, el nivel freático, etc.
- Recomendaciones para determinar la cimentación de las tuberías y el método constructivo de las excavaciones, su protección y estabilidad.
- Estudios para determinar las propiedades corrosivas de los suelos alrededor del trazado o zona del proyecto.

- Estudios de compresión lateral para el caso de los anclajes y los empalmes que formen parte del sistema de alcantarillado.

Para una tubería de material y tipo de unión determinados, para ser utilizados en las conducciones, se debe establecer la máxima deformación en las juntas, causada por movimiento de suelo, que puede resistir la tubería.

Se debe cumplir lo establecido en la Resolución 1096 de noviembre 17 de 2000 del Ministerio de Desarrollo Económico, en su artículo 192, “Consideraciones sísmicas de los diseños geotécnicos”. Cuando existan estudios particulares de zonificación sísmica deben emplearse los espectros de diseño recomendados según los mapas de microzonificación respectivos, además de los requerimientos especiales de diseño sísmico que se establecen para cada zona en particular. De lo contrario, se deben adoptar las consideraciones sísmicas estipuladas en el Título H, de la Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismorresistente NSR-10, o aquella que la reemplace.

6.3.1.2.6 Estudios Topográficos

Para el diseño de los sistemas de alcantarillado debe seguirse lo establecido en la norma técnica de EMCALI EICE E.S.P. “NDI-SE-AA-015 Directrices para la ejecución de levantamientos topográficos y geomáticos”.

6.3.1.2.7 Trazado de la red de alcantarillado

En todos los diseños debe tenerse en cuenta que la UENAA no permite que las redes de Alcantarillado se instalen a través de servidumbres, por tanto, las redes de Alcantarillado se localizarán en vías públicas.

Con el fin de localizar adecuadamente las redes de Alcantarillado con relación a los demás servicios, el proyectista se regirá por los esquemas adjuntos (Ver Anexo 3).

6.3.1.2.8 Descripción de los sistemas e infraestructura existentes

En el diseño se debe investigar todos los aspectos generales de la zona por donde cruza el componente del sistema de alcantarillado. En general, deben conocerse los regímenes de propiedad, los usos generales de la zona objeto del diseño y los predios o servidumbres que deben adquirirse para nuevos trazados de alcantarillado.

Se debe efectuar una descripción detallada de los aspectos que se deben tener en cuenta, para el diseño de sistemas de alcantarillado, sobre los sistemas existentes tanto de abastecimiento de agua potable como de recolección y transporte de las aguas residuales y/o lluvias, los sistemas de drenaje natural de las aguas lluvias y el estado general de la calidad de agua en los cuerpos que conforman dicho sistema de drenaje y las obras de infraestructura existentes y futuras en el sector objeto del proyecto.

6.3.1.2.9 Descripción y/o diagnóstico del sistema existente de abastecimiento de agua potable

Como paso previo para el diseño de un sistema de alcantarillado, se debe conocer el sistema de abastecimiento de agua potable existente en la zona de servicio en que se va a desarrollar dicho diseño. Se deben identificar los siguientes aspectos:

- Componentes del sistema de abastecimiento de agua potable en la zona del proyecto, con base en la información vigente de EMCALI EICE E.S.P.
- Condiciones del servicio de acueducto, recolectando información como los consumos medios, los consumos máximos y las curvas de consumo. Si en la zona objeto del proyecto existen zonas urbanas sin servicio de agua potable, pero que pueden ser abastecidas en el futuro, se debe hacer

el análisis de caudales de consumo correspondientes al período de diseño del proyecto. La información sobre consumos será suministrada por EMCALI EICE E.S.P.

- Deficiencias en el servicio de abastecimiento de agua potable, en particular el índice de agua no contabilizada y su influencia sobre el sistema de recolección y transporte de aguas residuales, teniendo en cuenta que el suministro de agua potable corresponde al período de planeación del sistema, incluyendo las posibles expansiones.

El diseñador debe determinar el estado actual de los sistemas existentes de recolección y transporte de las aguas residuales y las aguas lluvias de la zona de estudio, desarrollando los aspectos enumerados a continuación, con el fin de conocer de manera general los mismos. En todos los casos, el diseñador debe conocer las características del sistema existente al cual se conectaría el nuevo diseño, así como las quebradas u otros cuerpos que conforman el sistema de drenaje natural a donde se puedan desviar aguas lluvias o a donde se puedan conectar las descargas de los alivios en sistemas de alcantarillado combinado. También es necesario conocer las características de los cuerpos receptores.

6.3.2 Componentes del sistema

En el diseño se debe identificar y dejar registros de:

- Características de componentes incluyendo el tipo de sistema de alcantarillado, la disposición de elementos, edad de las tuberías, materiales de las tuberías, redes de tuberías, cámaras de conexión y/o inspección, interceptores, canales, estaciones de bombeo y cualquier otro tipo de estructura especial que forme parte del sistema de alcantarillado.
- El Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV) de la ciudad de Cali.
- Toda la información cartográfica existente en EMCALI EICE E.S.P. sobre el sistema de alcantarillado y el sistema de abastecimiento de agua potable.
- Las contribuciones especiales de aguas residuales o de aguas lluvias en caso de que éstas existan.
- El estado actual y la capacidad hidráulica actual y futura del sistema.
- Los caudales y tipo de descargas a las corrientes superficiales y cuerpos receptores.
- Deficiencias del servicio de recolección y transporte de las aguas residuales y/o lluvias

En el diseño se debe identificar los puntos débiles del servicio de recolección y transporte de las aguas residuales y/o lluvias en el sector objeto de proyecto. Debe describir aquellas áreas urbanas que no se encuentren unidas al sistema existente y que pueden tener relación con el proyecto.

Igualmente, se deben conocer las zonas de inundación, zonas de inundación potencial o zonas que presenten algún tipo de problemas con el manejo de las aguas lluvias.

6.3.2.1 Descripción del sistema de drenaje natural

En el diseño debe tenerse en cuenta el sistema de drenaje natural urbano existente en la zona objeto del proyecto. Debe conocer los aspectos hidráulicos de las quebradas, acequias, canales naturales, ríos y otros cuerpos que conformen el sistema de drenaje natural, y sus cuencas, donde se puedan desviar aguas lluvias o conectar las descargas de los alivios en sistemas de alcantarillado combinado.

El diseño debe incluir los aspectos relacionados con las pendientes de los cuerpos de agua, las velocidades de flujo, los caudales máximos y mínimos, la variación estacional de los caudales, los aspectos

relacionados con el transporte de sedimentos y la socavación local y general existentes en los cuerpos naturales que conforman el sistema de drenaje urbano.

La información e intervención sobre los cuerpos de agua debe ser obtenida y el diseño viabilizado en los Institutos y/o Autoridades Ambientales competentes, DAGMA y/o CVC.

6.3.2.2 Descripción y diagnóstico de la calidad de agua en los cuerpos receptores

Para llevar a cabo el procedimiento de diseño de nuevos sistemas de alcantarillado o de expansiones de sistemas existentes, el diseñador debe conocer el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV) para la ciudad de Cali, para ser considerado dentro del objeto del proyecto de diseño. Adicionalmente, el diseño puede tener en cuenta, en caso de que existan, modelos y resultados de simulaciones sobre la calidad del agua en cuerpos receptores.

Como complemento, se debe tener en cuenta lo establecido en el Documento CONPES 3177 de 2002, la Resolución 1443 de diciembre de 2004 y el Decreto 3100 de 2003.

6.3.2.3 Evaluación de obras de infraestructura existentes

Para el proceso de diseño deben identificarse las principales obras de infraestructura construidas y proyectadas en el corto y mediano plazo dentro de la zona de influencia del sistema de alcantarillado que se va a desarrollar, tales como calles, avenidas, puentes, líneas de transmisión de energía eléctrica, redes de gas, redes de telecomunicaciones, circuitos del sistema de distribución de agua potable, urbanizaciones y cualquier otra obra de importancia.

En caso de que el diseño de un proyecto de alcantarillado pueda afectar la infraestructura existente en los ríos, quebradas u otros cuerpos de agua, se debe hacer una evaluación acorde con las directrices que establezca la Autoridad Ambiental competente, sobre el posible impacto que los nuevos caudales puedan tener sobre dicha infraestructura y establecer las medidas preventivas para evitar su socavación o daño.

Se debe establecer la posibilidad de aprovechar ya sea de manera total o parcial los elementos del sistema existente. En el caso de diseños de sistemas nuevos, se debe establecer la posibilidad técnica de aprovechar los elementos del sistema existente al cual se va a conectar el sistema nuevo, previo chequeo de su capacidad y estado y funcionamiento.

En particular, el diseño debe tener en cuenta los puentes, cruces de tuberías, alcantarillas (box culvert), o cualquier otro tipo de infraestructura localizada dentro de los cuerpos de agua; así mismo, otras obras de infraestructura existentes que formen parte del sistema de alcantarillado o el sistema de transporte y drenaje natural de las aguas lluvias, como los puntos de entrega de alivios del sistema de alcantarillado combinado y los puntos de entrega directa a quebradas y ríos de aguas lluvias recolectadas en la zona del proyecto.

6.3.3 Parámetros de diseño

6.3.3.1 Distancia mínima a fuentes superficiales

El diseñador debe tener en cuenta lo establecido por el POT con respecto a las franjas de protección de las fuentes superficiales. Adicionalmente, debe llevar a cabo los estudios geotécnicos necesarios para establecer los posibles problemas de inestabilidad por socavación local o por estabilidad de taludes. En caso de que se detecten problemas específicos, el diseño debe incluir las obras necesarias para garantizar la estabilidad de las redes.

6.3.3.2 Diámetro mínimo de las tuberías

En las redes de alcantarillado para la recolección y transporte de aguas residuales y aguas lluvias, la sección circular es la más usual para los conductos.

6.3.3.2.1 Diámetro mínimo alcantarillado Sanitario

Para el caso de las redes de alcantarillado de aguas residuales de EMCALI EICE E.S.P., el diámetro nominal mínimo permitido es de 200 mm (8 pulg.).

Para las conexiones domiciliarias el diámetro mínimo es de 150 mm (6 pulg.)

6.3.3.2.2 Diámetro mínimo alcantarillado Pluvial y Combinado

Para el caso de las redes de alcantarillado de aguas lluvias y combinadas de EMCALI EICE E.S.P., el diámetro nominal mínimo permitido es de 250 mm (10 pulg.).

Para las conexiones domiciliarias el diámetro mínimo es de 150 mm (6 pulg.)

6.3.3.3 Velocidad mínima en las tuberías

6.3.3.3.1 Velocidad mínima alcantarillado Sanitario

Todas las redes de alcantarillado sanitario deben quedar diseñadas y construidas con pendientes hidráulicas para que se tenga una velocidad real mínima de 0.75 m/s para tramos iniciales y 0.60 m/s para los demás tramos, probando dicha velocidad para las condiciones encontradas al inicio de operación del sistema para el caudal máximo horario inicial. Adicionalmente las pendientes seleccionadas deben garantizar las velocidades de autolimpieza.

Sin embargo, para las condiciones iniciales de operación de cada una de las tuberías, el diseño debe verificar el comportamiento autolimpiante del flujo, para lo cual se debe utilizar el criterio de esfuerzo cortante en la pared. Para establecer el criterio de auto limpieza, el diseño debe utilizar un valor de esfuerzo cortante en la pared de la tubería mayor o igual a 1.2 N/m² (0.12 kg/m²) para el caudal inicial máximo horario.

El esfuerzo cortante en la pared de la tubería se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación 1:

$$\tau = \gamma \cdot R \cdot S \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde,

- τ = Esfuerzo cortante en la pared (N/m²).
- γ = Peso específico del agua residual (N/m³).
- R = Radio hidráulico (m).
- S = Pendiente (m/m).

6.3.3.3.2 Velocidad mínima alcantarillado Pluvial

La velocidad mínima aceptable para alcantarillado de aguas lluvias es 0.75 m/s para colector lleno.

Adicionalmente, el diseñador debe verificar el comportamiento autolimpiante del flujo, para lo cual se debe definir un criterio de esfuerzo cortante en la pared de la tubería mínimo. El valor del esfuerzo cortante mínimo es de 3.0 N/m^2 (0.3 kg/m^2) para el caudal de diseño y debe ser mayor o igual a 1.5 N/m^2 (0.15 kg/m^2), para el 10% de la capacidad a tubo lleno.

6.3.3.4 Velocidad máxima en las tuberías

Los valores máximos de velocidad permisible deben quedar plenamente justificados en el diseño en términos de las características de los materiales que conforman las paredes internas de las tuberías y las estructuras de conexión, de las características abrasivas de las aguas lluvias y de la turbulencia del flujo.

Los valores de la velocidad máxima deben quedar justificados, desde la etapa de diseño, teniendo en cuenta los manuales técnicos de los fabricantes de las tuberías, y deben ser aceptados por EMCALI EICE E.S.P. En general, la velocidad media máxima permisible es de 5 m/s , salvo en el caso de tuberías plásticas en que dicha velocidad recomendada es de 10 m/s . En el caso de tuberías con recubrimientos internos, la velocidad media máxima permisible es 5 m/s . Si el diseñador decide adoptar un valor mayor, debe justificarlo técnicamente y debe contar con la aprobación de EMCALI EICE E.S.P.

En todo caso, cuando la velocidad en una tubería sea superior a 4 m/s se debe hacer un análisis hidráulico detallado del tramo, en particular de las estructuras de disipación de energía y las cámaras de conexión, inspección o de caída que existan en los extremos de éste. El análisis hidráulico detallado debe incluir, entre otras cosas, el cálculo de flujo rápidamente variado, la posible existencia de resaltos hidráulicos, problemas de vorticidades y resuspensión de sedimentos, problemas de chorros impactantes y cambios en la dirección de flujo.

6.3.3.5 Pendiente mínima de las tuberías

El valor de la pendiente mínima de cada tubería debe corresponder con aquel que permita tener las condiciones de autolimpieza.

6.3.3.6 Pendiente máxima de las tuberías

El valor de la pendiente máxima admisible, establecida en el diseño, debe ser aquel para el cual se obtenga la velocidad máxima real establecida.

En caso de que la pendiente resultante en una de las tuberías sea superior al 10%, el diseñador debe tener en cuenta las consideraciones para pendientes elevadas, donde la validez de las ecuaciones para el cálculo de flujo uniforme o el cálculo de flujo gradualmente variado requieran de correcciones como función del ángulo de pendiente.

6.3.3.7 Anclajes en tuberías de alcantarillado

Cuando la pendiente de la tubería sea superior al 15%, para tuberías de superficie exterior lisa, o al 25% para tuberías de superficie exterior rugosa, el diseñador debe incluir el diseño de los anclajes necesarios para garantizar la estabilidad de la tubería, frente al fenómeno de fuerzas de arrastre generadas por el flujo. El tipo y número de anclajes depende del material de la tubería, de la velocidad y profundidad de flujo, del diámetro de ésta, del número de uniones por unidad de longitud y del tipo de suelo. El diseñador debe atender la norma "NDI-SE-AA-017 Criterios de diseño de anclajes, apoyos y soportes en redes de acueducto y alcantarillado" y también debe tener en cuenta lo establecido por los manuales técnicos de los fabricantes de las tuberías.

6.3.3.8 Profundidad hidráulica máxima en las tuberías

El diseño debe establecer la profundidad hidráulica máxima en cada una de las tuberías, con el fin de disminuir el riesgo de sobre carga y permitir una adecuada aireación del flujo dentro de las tuberías.

Todos los cálculos y verificaciones de relaciones hidráulicas se deben hacer con el diámetro real interno de la tubería.

6.3.3.8.1 Profundidad hidráulica máxima en alcantarillado

El valor máximo permisible para la profundidad hidráulica, contemplada en el diseño, debe ser del 85% del diámetro real interno de cada una de las tuberías.

Para alcantarillados Sanitarios y Pluviales con diámetros menores o iguales a 500 mm con conexiones domiciliarias, la profundidad hidráulica máxima debe ser del 70%; para diámetros entre 500 mm y 1000 mm, la profundidad hidráulica máxima debe ser del 80% y para diámetros mayores a 1000 mm, la profundidad hidráulica máxima debe ser del 85%. En ningún caso deben realizarse conexiones directas entre tuberías domiciliarias y tuberías de diámetros mayores a 600 mm de la red pública de aguas sanitarias y pluviales; en estos casos es recomendable el uso de colectores auxiliares que lleven el agua residual o lluvia a la cámara localizada inmediatamente aguas abajo.

6.3.3.9 Profundidades mínimas de las tuberías a clave

Las tuberías de las redes de alcantarillado de aguas residuales y aguas lluvias para EMCALI EICE E.S.P. deben localizarse a una profundidad adecuada con el fin de permitir el drenaje de las aguas residuales y pluviales domiciliarias de edificaciones sin sótano, estableciendo para dichas conexiones domiciliarias una pendiente mínima del 1 %. El diseño debe asegurar que el cubrimiento mínimo de cada tubería sea aquel necesario para evitar la ruptura de éstas, por causa de las cargas vivas que puedan ejercerse a lo largo de la vida útil del proyecto. El valor mínimo permisible, en zonas peatonales o zonas verdes es de 0,75 metros de profundidad y en zonas vehiculares es de 1,00 metro.

Para aquellos casos especiales en los cuales existan problemas de drenaje, el diseñador puede reducir este valor mínimo, desde la etapa de diseño, teniendo en cuenta todas las previsiones estructurales y geotécnicas que garanticen una protección efectiva de las tuberías. Las conexiones domiciliarias y las tuberías de aguas lluvias deben localizarse por debajo de las tuberías de acueducto. Similarmente, las tuberías de aguas lluvias deben localizarse a una profundidad tal que no interfieran con las conexiones domiciliarias de aguas residuales al sistema de recolección y transporte de aguas residuales.

Con respecto a la cimentación de las tuberías obsérvese la norma de EMCALI EICE E.S.P. "NDI-SE-AA-016 Requerimientos para cimentación de tuberías en redes de acueducto y alcantarillado.

6.3.3.10 Profundidad máxima de las tuberías a la cota clave

El diseñador debe establecer la profundidad máxima a la cota clave de las tuberías teniendo en cuenta el tipo de suelo, los equipos y métodos de excavación y los métodos de entibado disponibles. Una vez establecida la cota clave, teniendo en cuenta las condiciones particulares de diseño, se debe tener en cuenta el comportamiento mecánico de las tuberías y de los materiales con los cuales están fabricadas.

El diseño debe garantizar los requerimientos geotécnicos de las cimentaciones y los requerimientos estructurales de los materiales de la tubería durante y después de la construcción.

Por lo general, se estima que el límite técnico-económico de instalación de tuberías flexibles en un sistema de alcantarillado de metodología de excavación con zanja abierta, es de máximo 4,0 m de profundidad.

Para la instalación de tuberías flexibles a profundidades mayores a 4.0 m, deberá presentarse los diseños y chequeos de cimentación y deflexiones para la evaluación y viabilización por parte de EMCALI EICE ESP.

Los cruces subterráneos de lagos, ríos, quebradas, y cualquier otro tipo de corrientes superficiales deben acompañarse de un diseño estructural y geotécnico que justifique todas las dimensiones, los atraques y las profundidades empleadas a usarse.

6.3.4 Materiales para ductos en sistemas de alcantarillado

El diseño de los sistemas de recolección y transporte de aguas residuales y/o lluvias debe garantizar la estanqueidad del sistema a lo largo del período de diseño. Por consiguiente, el diseñador debe utilizar los materiales más apropiados teniendo en cuenta las características de las aguas residuales y lluvias, incluyendo su agresividad y la posible generación de sulfuros, las cargas externas actuantes, incluidas aquellas ocasionadas por eventos sísmicos, las condiciones del suelo, las condiciones del nivel freático, y la posible interacción con otras redes de servicios públicos, en particular con redes eléctricas que puedan generar corrientes en el suelo. Lo anterior debe ser tenido en cuenta no solamente para los materiales de las tuberías y ductos sino también para sus uniones, las estructuras de conexión, las cámaras de inspección y de caída y todos los demás componentes que formen parte del sistema de alcantarillado. Obsérvese la norma técnica de EMCALI EICE E.S.P. “NDC-PM-RA-017 Tubería para alcantarillado”.

6.4 ALCANTARILLADO SANITARIO

6.4.1 Parámetros de diseño aguas residuales

Los parámetros de diseño constituyen los elementos básicos para desarrollar el diseño hidráulico y verificar el cumplimiento de los Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV) de los sistemas de recolección y transporte de aguas residuales, incluyendo el diseño tubo a tubo bajo condiciones de flujo uniforme y la comprobación de diseño del sistema de alcantarillado operando como un todo, bajo condiciones de flujo gradualmente variado o de flujo no permanente.

6.4.2 Período de diseño

El período de diseño de las redes de alcantarillado de aguas residuales para EMCALI EICE E.S.P. es de 30 años. En otros casos se debe seguir lo establecido en el Literal D.2.2.3 del RAS 2017 o aquel que lo reemplace. En aquellos casos en los cuales el análisis de costo mínimo sugiera un desarrollo por etapas, éstas deben diseñarse teniendo en cuenta dicho período de diseño. En todo caso, se debe comparar el período de diseño con el período en el cual se alcance la población de saturación, pues en caso de que se llegue a la población de saturación en un período menor al de diseño, se debe utilizar el primero como período de diseño.

6.4.3 Usuarios y Población

Para llevar a cabo el diseño de una red de alcantarillado de aguas residuales, el diseñador debe calcular los contribuyentes de caudal. Para esto debe conocer ya sea los usuarios o la población tanto actual(es) como futura(os), proyectada(os) al período de diseño. En caso de que exista la proyección futura de usuarios hecha por EMCALI EICE E.S.P. o exista la información necesaria para hacerla, el cálculo de los caudales se debe hacer utilizando la dotación por usuarios descrita posteriormente.

El cálculo de población futura para urbanizaciones se realizará con base en la densidad de población que determine EMCALI EICE E.S.P. como dato básico.

Cuando se trata de proyectos especiales o de colectores principales que involucren áreas de diferente zonificación o usos de suelo, se debe efectuar un estudio de población para determinar la densidad o densidades a utilizar en el diseño.

6.4.4 Contribuciones de aguas residuales

El caudal de aguas residuales aportadas a una red de alcantarillado está conformado por las aguas residuales domésticas, industriales, comerciales y oficiales. Adicionalmente se deben tener en cuenta los caudales por infiltración y por conexiones erradas. El cálculo del caudal debe basarse en lo posible, en la información histórica de consumos de agua potable que exista en EMCALI EICE E.S.P. en mediciones periódicas y en evaluaciones regulares. Para el cálculo de cada uno de estos caudales componentes deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

Caudales de diseño

Los conductos sanitarios deben tener capacidad suficiente para transportar de manera simultánea los siguientes caudales:

- Caudal máximo horario de aguas residuales domésticas.
- Caudal de aguas residuales comerciales, industriales e institucionales.
- Caudal de aguas de infiltración.
- Caudal de aguas lluvias de dilución proveniente de las estructuras de separación o aliviaderos.
- Conexiones erradas (Aguas lluvias al alcantarillado sanitarios en sistemas de alcantarillado separado)

6.4.5 Caudal de aguas residuales domésticas (QD)

EMCALI EICE E.S.P. generalmente suministrará en los Datos Básicos la producción de aguas residuales por habitante y por hectárea (l/s-Ha), de lo contrario se podrá utilizar una de las siguientes formas de cálculo, de acuerdo con el tipo de proyección de población que se utilice: demanda de agua potable, usuarios o población.

En caso de que para el diseño se haya hecho una proyección de demanda de agua potable, de acuerdo con la información de EMCALI EICE E.S.P., se debe utilizar la Ecuación 2 , mostrada a continuación:

$$Q_D = C_R \times D_{NETA_P} \times (1 + IANC) \times A \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde,

Q_D = Caudal de aguas residuales domésticas (L/s).

C_R = Coeficiente de retorno (adimensional)

D_{NETA_P} = Demanda de agua potable proyectada (L/s·Ha)

$IANC$ = Índice de agua no contabilizada de acuerdo con el circuito de acueducto (decimales)

A = Área tributaria bruta (Ha)

En este caso, la proyección de la demanda de agua potable se debe consultar con EMCALI EICE E.S.P.

En caso de que para propósitos de diseño de la red de alcantarillado se haya proyectado la población, el caudal de diseño se debe calcular de acuerdo con la Ecuación 3 mostrada a continuación:

$$Q_D = \frac{C_R \times P \times D_{NETA}}{86400} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde,

Q_D = Caudal de aguas residuales domésticas (m³/s).

C_R = Coeficiente de retorno (adimensional)

P = Número de habitantes proyectados al período de diseño (hab)

D_{NETA} = Demanda neta (m³/hab/día)

El coeficiente de retorno es la fracción del agua potable de uso doméstico servida (dotación neta), entregada como agua residual al sistema de recolección y transporte de aguas residuales. Su cálculo debe basarse en análisis de la información existente en EMCALI EICE E.S.P. Cuando no exista esta información, se debe utilizar un coeficiente de retorno de 0.85.

6.4.6 Caudal de aguas residuales industriales (Q_i)

El caudal de agua industrial vertida a una red de alcantarillado de aguas residuales es función del tipo y tamaño de la industria, del tipo de proceso industrial utilizado, de los aportes de aguas residuales, los cuales varían con el grado de recirculación de agua y los procesos de tratamiento utilizados por industrias particulares. Consecuentemente, el caudal de agua residual industrial debe determinarse en cada caso particular, con base en información de censos, encuestas sobre tipos de industria y procesos industriales y teniendo en cuenta estimativos de ampliaciones y consumos futuros, a lo cual se suma la información de lo establecido en la Resolución 0075 de 2011, expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, o la norma que la modifique o sustituya.

El diseñador debe desarrollar análisis específicos de los aportes industriales de aguas residuales, en particular en aquellas zonas netamente industriales o en zonas residenciales y comerciales en las que se localicen industrias medianas y grandes, teniendo en cuenta la base de datos de usuarios de EMCALI EICE E.S.P.

Los establecimientos que en razón de su actividad generen residuos que puedan afectar la operación y mantenimiento del sistema de alcantarillado o las plantas de tratamiento operadas por la empresa, deben implementar los sistemas de control de las sustancias o elementos nocivos generados, los cuales deben ser aprobados por la entidad ambiental competente.

El material retenido en los sistemas de tratamiento implementados por los usuarios del sistema no se podrá disponer en la red de alcantarillado y el usuario generador es responsable de su adecuada disposición.

6.4.7 Caudal de aguas residuales comerciales (Q_c)

En caso de que en la zona objeto del diseño de la red de alcantarillado de aguas residuales existan zonas netamente comerciales, el caudal de aguas residuales comerciales debe estar justificado a través de un estudio detallado, ya sea de los consumos actuales de los usuarios comerciales o con base en los consumos diarios por persona, número de personas en estas áreas y en coeficientes de retorno mayores que los de consumo doméstico, para aquellos casos en que no exista información comercial de consumos históricos. Por consiguiente, el diseñador debe incluir dichos estudios y coeficientes, los cuales deben ser aceptados por EMCALI EICE E.S.P. En caso de que existan zonas mixtas, comerciales y residenciales, los caudales medios deben calcularse teniendo en cuenta la concentración comercial relativa a la concentración residencial.

El diseñador debe calcular el caudal comercial para las condiciones iniciales, Q_{Ci} , es decir para el momento de entrada en operación de la red de alcantarillado de aguas residuales, y para las condiciones finales, Q_{Cf} , es decir para el final del período de diseño de la red, teniendo en cuenta los planes de desarrollo comercial del sector y/o los previstos en el Plan de Ordenamiento Territorial.

6.4.8 Caudal de aguas residuales de uso oficial y uso especial (Q_{OF})

El uso oficial de agua potable es aquel destinado a entidades de carácter oficial y establecimientos públicos que no desarrollen actividades de tipo comercial o industrial. Incluye planteles educativos a todo nivel, hospitales, clínicas, centros de salud, ancianatos y orfanatos de carácter oficial. El uso especial de agua potable es aquel destinado a entidades sin ánimo de lucro que reciban donación de entidades oficiales de cualquier orden o que estas últimas hayan participado en su constitución, por ejemplo, las instituciones de beneficencia, culturales y de servicios sociales.

El consumo de agua potable de las diferentes instituciones oficiales y especiales es función del tipo y tamaño de las mismas. Consecuentemente, los caudales de aguas residuales de uso oficial y uso especial deben determinarse para cada caso particular, teniendo en cuenta la información histórica de consumos de agua potable registrada en EMCALI EICE E.S.P.

Al diseñar se deben calcular los caudales de aguas residuales oficiales y especiales para las condiciones iniciales, Q_{OFi} , es decir para el momento de entrada en operación de la red de alcantarillado de aguas residuales, y para las condiciones finales, Q_{OFF} , es decir para el final del período de diseño, teniendo en cuenta los planes de desarrollo del sector para este tipo de instituciones y/o los previstos en el Plan de Ordenamiento Territorial.

6.4.9 Caudal de aguas residuales por conexiones erradas (Q_{CE})

Para el diseño de las redes de alcantarillado de aguas residuales, debe tenerse en cuenta el aporte de aguas lluvias al sistema de alcantarillado de aguas residuales, provenientes de conexiones erradas de bajantes de tejados y patios. Estos caudales son función de la efectividad de las medidas de control sobre la calidad de las conexiones domiciliarias y de la disponibilidad de sistemas de recolección y transporte de aguas lluvias.

Se debe utilizar un valor de 0.20 l/s-Ha como el aporte por conexiones erradas de aguas lluvias al sistema de alcantarillado de aguas residuales, cuando hay alcantarillado de aguas lluvias y 2.00 l/s-Ha como el aporte por conexiones erradas de aguas lluvias al sistema de alcantarillado de aguas residuales, cuando no hay alcantarillado de aguas lluvias.

6.4.10 Caudales por infiltración (Q_{INF})

Para la ciudad de Santiago de Cali, el caudal de infiltración fluctúa entre 0.10 l/s-Ha y 0.30 l/s-Ha. El factor a utilizar en los diseños los suministrará EMCALI EICE E.S.P. en los lineamientos básicos, dependiendo del sector.

En caso que EMCALI EICE E.S.P. lo exija o las condiciones así lo requieran, será necesario realizar investigaciones sobre los niveles freáticos en verano y en invierno, para establecer su aporte al proyecto en cuestión.

En caso de que existan medidas de infiltración en la zona objeto del diseño de la red de alcantarillado de aguas residuales, calculadas por parte de EMCALI, el diseñador debe hacer uso de esta información.

6.4.11 Caudal medio diario de aguas residuales

El caudal medio diario de aguas residuales (Q_{MD}) para una tubería con un área tributaria de drenaje dada, corresponde a la suma de los caudales de aguas residuales domésticas, industriales, comerciales, oficiales y especiales, de acuerdo con la Ecuación 4.

$$Q_{MD} = Q_D + Q_I + Q_C + Q_{OF} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde,

Q_{MD} = Caudal medio diario (m^3/s).

Q_D = Caudal de aguas residuales doméstico (m^3/s).

Q_I = Caudal de aguas residuales industriales (m^3/s).

Q_C = Caudal de aguas residuales comerciales (m^3/s).

Q_{OF} = Caudal de aguas residuales oficiales (m^3/s).

En la anterior ecuación, el caudal de aguas residuales industriales debe incluir los caudales máximos de industrias clasificadas como grandes usuarios de acuerdo con lo establecido en el numeral 6.3.2.2.

El diseñador debe calcular el caudal medio diario de aguas residuales para las condiciones iniciales (Q_{MDi}), es decir para el momento de entrada en operación de la red de alcantarillado de aguas residuales, y para las condiciones finales, correspondientes al final del período de diseño (Q_{MDf}). En aquellos casos en los cuales los caudales de aguas residuales industriales, comerciales, oficiales o especiales sean marginales con respecto a los caudales de aguas residuales domésticas, aquellos pueden calcularse como un porcentaje del caudal de aguas residuales domésticas previa aceptación de EMCALI EICE E.S.P.

6.4.12 Caudal máximo horario final (Q_{MHf})

El caudal máximo horario final de aguas residuales (Q_{MHf}), es la base para establecer el caudal de diseño de cada una de las tuberías que conforman una red de alcantarillado de aguas residuales. El caudal máximo horario final del día de máximo consumo se calcula a partir del caudal final medio diario, utilizando un factor de mayoración, F , de acuerdo con la Ecuación 5.

$$Q_{MHf} = F \cdot Q_{Df} + Q_{If} + Q_{Cf} + Q_{OFF} \quad \text{Ecuación 5}$$

donde,

Q_{MHf} = Caudal máximo horario final (m^3/s).

F = Factor de mayoración (adimensional).

Q_{Df} = Caudal de aguas residuales doméstico final (m^3/s).

Q_{If} = Caudal de aguas residuales industriales final (m^3/s).

Q_{Cf} = Caudal de aguas residuales comerciales final (m^3/s).

Q_{OFF} = Caudal de aguas residuales oficiales final (m^3/s).

6.4.13 Factor de mayoración (F)

El factor de mayoración que se utiliza para calcular el caudal máximo horario con base en el caudal medio diario final, tiene en cuenta las variaciones normales en el consumo de agua potable por parte de la población a lo largo del día y para los diferentes días de la semana. En general, el factor de mayoración disminuye a medida que el número de habitantes considerado aumenta, pues el uso de agua potable se vuelve más uniforme y adicionalmente la red de tuberías puede contribuir cada vez más a amortiguar los picos de caudal.

La Ecuación 6 define el factor para caudal máximo horario:

$$F = \frac{2.30}{Q_m^{0.062}} \quad \text{Ecuación 6}$$

Q_m = Caudal medio diario (l/s)

El factor F debe calcularse tramo a tramo de acuerdo al incremento de caudal. En general el valor de F debe estar entre 1.4 y 3.0.

6.4.14 Caudal de diseño

El caudal de diseño para cada una de las tuberías que conforman la red de alcantarillado de aguas residuales corresponde a la suma del caudal máximo horario final del día de mayor consumo de agua potable, Q_{MHf} , más los aportes de caudal de infiltración y caudal de aguas residuales por conexiones erradas de acuerdo con la Ecuación 7.

$$Q_{DT} = Q_{MHf} + Q_{INF} + Q_{CEf} \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde,

Q_{DT} = Caudal de diseño para cada tubería (m³/s).

Q_{MHf} = Caudal máximo horario final (m³/s).

Q_{INF} = Caudal por infiltraciones (m³/s).

Q_{CEf} = Caudal por conexiones erradas final (m³/s).

Este caudal corresponde a las contribuciones de aguas residuales acumuladas que llegan al tramo hasta su cámara de conexión y/o inspección aguas abajo. Es importante hacer énfasis en que los caudales mostrados en la Ecuación 7, corresponden a los valores de caudales finales previstos.

Cuando el caudal de diseño calculado en uno de los tramos sea inferior a 2.0 l/s, debe adoptarse este valor como el caudal de diseño, hasta que se iguale o supere el valor de 2.0 l/s.

6.4.15 Características de las aguas residuales

EMCALI EICE E.S.P. se reserva el derecho de negar el permiso para construir los desagües para residuos industriales no tratados, si las características de estos pueden tener efecto perjudicial para la operación y

mantenimiento del sistema de alcantarillado o sobre el tratamiento actual o futuro de las aguas negras, o sobrepasan los límites permisibles de contaminación de las fuentes receptoras de acuerdo con los límites fijados por la reglamentación nacional vigente y las exigencias adicionales o particulares que establezcan las entidades locales de control ambiental CVC y/o DAGMA.

6.4.16 Tamaño de los Conductos

El tamaño de los conductos depende del caudal de diseño, el cual se determina según el numeral anterior.

El diámetro de los tubos a utilizar se determina tomando como valor máximo la relación entre caudal de diseño y caudal a tubo lleno de 0.90.

El tamaño mínimo permitido para alcantarillado sanitario es 200 mm. (8 pulg.). Para conexiones domiciliarias se usan tuberías de 150 mm. (6 pulg.) de diámetro como mínimo.

6.4.17 Materiales susceptibles a corrosión por sulfuros

En caso de que el diseño contemple el uso de materiales para tuberías, como el concreto, se debe considerar que éstos pueden sufrir corrosión inducida por la acción de los microorganismos, a través de procesos bioquímicos de reducción de materia orgánica en la parte superior interna de las tuberías. Por consiguiente, para aquellos materiales que entren en contacto con el agua residual transportada, que sean susceptibles a la corrosión, el diseño debe tener en cuenta las siguientes consideraciones establecidas en relación con la formación de sulfuros. Las bacterias contenidas en las aguas residuales reducen los sulfatos contenidos en éstas en forma anaeróbica, a ácido sulfhídrico (H_2S), el cual puede salir del agua y elevar su presión parcial de vapor en el aire contenido por encima de la superficie libre del flujo. Una porción del ácido sulfhídrico puede entrar en solución con gotas de agua condensada en la parte superior de las tuberías. En este caso, el H_2S es oxidado por bacterias aeróbicas para producir ácido sulfúrico, el cual tiene el poder de corroer estos materiales. La posibilidad de generación de H_2S se establece de acuerdo con el factor de Pomeroy (Z) mostrado a continuación:

$$Z = \frac{3(DBO_5)(1,07)^{T-20}}{S^{0,5}Q^{1/2}}(P/b) \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde,

Z = Factor de Pomeroy (adimensional).

S = Pendiente (m/m).

DBO_5 = Demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días del agua residual a 20°C (mg/L)

T = Temperatura del agua (°C)

Q = Caudal de agua residual (L/s).

P = Perímetro mojado (m).

b = Ancho superficial (m)

Si este factor es menor que 5000, la generación de H_2S es poco probable; si Z está entre 5.000 y 10.000, la generación de H_2S es posible; si Z es mayor que 10.000, dicha generación es muy probable. Por

consiguiente, el diseño debe asegurar el control de la formación de sulfuros mediante la selección de un material apropiado no susceptible a estos fenómenos de corrosión, o mediante el aumento de la velocidad de flujo a través de la escogencia de una pendiente mayor para las tuberías, o la disminución de la relación P/b. La disminución de esta última relación en conductos circulares equivale a disminuir la profundidad de flujo uniforme para el diseño.

6.5 ALCANTARILLADO PLUVIAL

6.5.1 Parámetros de diseño aguas lluvias

En todos los casos, EMCALI EICE E.S.P. fijará previamente o autorizará al diseñador los parámetros a utilizar.

Cuando las características del proyecto lo requieran o el área sea igual o superior a 80 Ha., se deben adoptar métodos hidrológicos que permitan deducir y sumar hidrogramas de creciente parciales a lo largo del conducto principal, teniendo en cuenta los desplazamientos en el tiempo y la capacidad de embalse de la tubería o canal.

A continuación, se definen los parámetros básicos generalmente utilizados en el diseño de sistemas de recolección y evacuación de aguas lluvias.

En particular, se debe verificar el cumplimiento de los planes de saneamiento y manejo de vertimientos (PSMV) de estos sistemas, para el diseño tramo a tramo bajo condiciones de flujo uniforme y la comprobación del diseño del sistema de alcantarillado operando como un todo, bajo condiciones de flujo gradualmente variado o de flujo no permanente, según sea el caso.

6.5.2 Período de diseño

Para el diseño de redes de alcantarillado de aguas lluvias, se deben tener en cuenta tanto el período de diseño como el período de retorno de la lluvia de diseño. El primero de éstos corresponde al horizonte de tiempo para el cual se hace la planeación del proyecto, dentro del cual se deben tener en cuenta variaciones de características de impermeabilidad y producción de escorrentía en la cuenca.

El período de diseño de las redes de alcantarillado de aguas lluvias es de 30 años. En aquellos casos en los cuales el análisis de costo mínimo sugiera un desarrollo por etapas, éstas deben diseñarse teniendo en cuenta dicho período de diseño.

6.5.3 Período de retorno de la lluvia

En la tabla 2 se establecen los valores de periodos de retorno de acuerdo con el tipo de conducto a utilizar para el transporte de las aguas lluvias, el grado de protección, con las características del área de drenaje y el tamaño total de dicha área para el sistema o sector diseñado.

Tabla 2. Períodos de Retorno

CARACTERISTICAS DEL AREA DE DRENAJE	PERIODO DE RETORNO
Redes Secundarias con áreas tributarias menores de 2 Ha.	3 años
Colectores con áreas tributarias menores de 10 Ha.	5 años
Colectores con áreas tributarias mayores a 10 Ha.	10 años

CARACTERISTICAS DEL AREA DE DRENAJE	PERIODO DE RETORNO
Canales abiertos - Sección revestida	25 años
Canales abiertos - Sección total	100 años

* Cuando se presenten áreas de uso mixto, EMCALI EICE E.S.P. definirá el período de retorno en cada caso, dependiendo del uso del suelo de mayor peso porcentual y su importancia relativa.

6.5.4 Áreas de drenaje

En el diseño de las redes de alcantarillado de aguas lluvias para EMCALI EICE E.S.P., el trazado debe seguir las calles de la ciudad o zonas del municipio objeto del diseño. La extensión y el tipo de áreas que drenan hacia un determinado tramo deben determinarse en forma individual, incluyendo el área tributaria propia del tramo bajo consideración. Las áreas de drenaje deben determinarse por medición directa en planos y su delimitación debe ser consistente con el sistema de drenaje natural de la ciudad. La medición de las áreas de drenaje en los planos debe hacerse utilizando la información geográfica disponible en EMCALI EICE E.S.P. o en las oficinas de Planeación Municipal. El diseñador debe hacer uso de técnicas de información geográfica que le permitan establecer las áreas de drenaje de cada tramo en forma precisa.

6.5.5 Caudal de diseño

En general, para el cálculo del caudal de diseño de las redes de alcantarillado de aguas lluvias para las EMCALI EICE E.S.P. se debe hacer uso de los métodos modernos de lluvia-escorrentía basados en los modelos de infiltración.

Cuando el cálculo del caudal de aguas lluvias para un sistema de recolección y evacuación de aguas lluvias se lleve a cabo utilizando un método de generación de hidrogramas, se debe obtener los hidrogramas de precipitación efectiva, a través del uso de modelos de infiltración, con el fin de determinar el hidrograma de escorrentía directa, haciendo uso del modelo lluvia-escorrentía. Este método de cálculo de hidrogramas se debe llevar a cabo cuando el área de drenaje de aguas lluvias sea superior a 80 ha, o cuando sea necesario hacer un análisis de flujo no permanente.

En aquellos casos en que el área de la cuenca de drenaje tenga una superficie inferior a 80 Ha y el diseño no requiera hidrogramas de creciente se puede utilizar el método racional.

6.5.5.1 Método Racional

La ecuación del Método Racional varía de acuerdo con el sistema de unidades utilizado. Las ecuaciones 9 y 10, mostradas a continuación, corresponden a la fórmula para el Método Racional en los dos sistemas de unidades más utilizados.

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

Ecuación 9

Donde,

Q = Caudal pico de aguas lluvias (L/s).

C = Coeficiente de impermeabilidad (adimensional)

i = Intensidad de precipitación (L/s/Ha)

A = Área tributaria (Ha)

$$Q = 2.78(C \times i \times A)$$

Ecuación 10

Donde,

Q = Caudal pico de aguas lluvias (L/s).

C = Coeficiente de impermeabilidad (adimensional)

i = Intensidad de precipitación (mm/h)

A = Área tributaria (Ha)

6.5.5.1.1 Curvas de Intensidad-Duración- Frecuencia

Las curvas de intensidad - duración –frecuencia (IDF) constituyen la base de información climatológica para el cálculo de los caudales de diseño para las redes de alcantarillado de aguas lluvias. Estas curvas sintetizan las características de los eventos de precipitación extremos en una zona determinada y establecen la intensidad media de lluvia para diferentes duraciones de eventos de precipitación con períodos de retorno específicos. El diseñador debe verificar la existencia de curvas IDF actualizadas en EMCALI EICE E.S.P., que correspondan a la zona en donde se localiza la red de alcantarillado de aguas lluvias objeto del diseño.

El diseñador también podrá hacer uso de ecuaciones que relacionen la intensidad de lluvia y su duración, cuando éstas existan para cada una de las estaciones pluviográficas de la ciudad o de la zona del objeto del diseño de la red de alcantarillado de aguas lluvias. En general estas ecuaciones tienen la forma mostrada en la Ecuación 11.

$$i = \frac{K * Tr^n}{(t + X)^m}$$

Ecuación 11

donde,

i = Intensidad de precipitación (mm/h).

t = Duración de lluvia (min)

Tr = Período de retorno (años)

k, X, n y m = Coeficientes de acuerdo con características de cada estación (adimensional)

6.5.5.1.2 Intensidad de precipitación

Para el caso del Método Racional, el diseñador debe utilizar la intensidad media de precipitación dada por las curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) para el período de retorno de diseño escogido según Tabla 2, y una duración de lluvia equivalente al tiempo de concentración de la escorrentía.

A medida que las áreas de drenaje urbanas consideradas se hacen más grandes, la intensidad media de la lluvia debe reducirse para tener en cuenta la variabilidad espacial que caracteriza el fenómeno de precipitación. Por consiguiente, el diseñador debe utilizar factores de reducción de la intensidad media de precipitación como función del área. Estos valores deben ser aprobados por EMCALI EICE E.S.P. En caso

de que el diseñador no tenga la información para realizar los cálculos de los factores de reducción, puede hacer uso de los factores de reducción de la intensidad mostrados en la Tabla 3.

**Tabla 3. Factor de reducción de la intensidad
(Tomado de Título D.4.4.3.2 RAS/ 2016)**

Áreas de drenaje (Ha)	Factor de reducción
50 - 100	0,99
101 - 200	0,95
201 - 400	0,93
401 - 800	0,90
801 - 1600	0,88

Para la ciudad de Santiago de Cali, y de acuerdo a las áreas indicadas en la Gráfica 1 del Anexo 4, se utilizan las siguientes curvas IDF:

- Zona Nor-Occidental de Cali

Curva aplicable en la zona Nor-occidental, limitada entre el Río Cali y el Río Cauca.

$$I = \frac{904.6072 * Tr^{0.195347361}}{t^{0.80769231}} * \frac{1}{0.36} \quad \text{Ecuación 12}$$

- Zona Sur y Área de Expansión de Cali

Curva aplicable en la zona Sur y área de Expansión, limitada entre el Río Cali, la antigua vía férrea (calle 25), el Canal Sur y el Río Cauca.

$$I = \frac{371.3526 * Tr^{0.16908059}}{t^{0.55356277}} * \frac{1}{0.36} \quad \text{Ecuación 13}$$

- Zona Oriental de Cali

Curva aplicable en la zona oriental, limitada entre el Río Cali, la antigua vía férrea (calle 25), el Canal Sur y el Río Cauca.

$$I = \frac{513.0206 * Tr^{0.17782069}}{t^{0.67484359}} * \frac{1}{0.36} \quad \text{Ecuación 14}$$

Las intensidades están dadas en l/s-Ha

donde:

I : Intensidad en l/s/Ha

Tr : Frecuencia de retorno en años

t : Tiempo de concentración en minutos

Nota: Las curvas propuestas pueden ser modificadas y/o actualizadas a medida que la Gerencia de Acueducto y Alcantarillado elabore nuevos estudios hidrológicos.

6.5.5.1.3 Coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía, C , es función del tipo del suelo de la cuenca, del grado de permeabilidad de la zona, de la pendiente del terreno y de todos aquellos otros factores que determinen qué parte de la precipitación se convierte en escorrentía. Por consiguiente, el diseñador debe considerar las pérdidas por infiltración en el subsuelo y cualquier otro efecto que tenga como consecuencia el retraso del flujo de escorrentía. También se deben considerar los planes de ordenamiento territorial, los planes de desarrollo urbano aprobados por el municipio y cualquier otro tipo de consideración legal sobre el uso futuro del suelo. Estos se requieren para estimar el coeficiente de impermeabilidad para el momento final del período de diseño, el cual puede ser sustancialmente diferente al coeficiente de impermeabilidad en el momento de entrada en operación de la red de alcantarillado de aguas lluvias. El tránsito hidráulico de la creciente producida por el evento de lluvia de diseño debe ser desarrollado tanto para las condiciones de coeficiente de impermeabilidad correspondientes al momento de puesta en marcha del proyecto, como para las condiciones de coeficientes de impermeabilidad correspondientes al final del período de diseño.

Para aquellas áreas de drenaje que incluyan zonas con coeficientes de impermeabilidad diferentes, el valor del coeficiente de impermeabilidad representativo para toda el área debe calcularse como el promedio ponderado de los coeficientes de impermeabilidad individuales para cada sub-área, de acuerdo con la Ecuación mostrada a continuación.

$$C = \frac{\sum C_i \times A_j}{\sum A_j} \quad \text{Ecuación 15}$$

donde,

C = Coeficiente de impermeabilidad ponderado (adimensional).

C_i = Coeficiente de impermeabilidad de cada sub-área (adimensional).

A_j = Área tributaria de drenaje de cada sub-área (Ha)

Alternativamente, el diseñador puede utilizar los coeficientes de impermeabilidad mostrados en la Tabla 4.

Tabla 4. Coeficientes de impermeabilidad (Tomado de Título D RAS 2017)

Tipo de superficie	C
Cubiertas	0.90
Pavimentos asfálticos y superficies de concreto	0.90
Vías adoquinadas	0.85
Zonas comerciales o industriales	0.90
Residencial, con casas contiguas, predominio de zonas duras	0.75
Residencial multifamiliar, con bloques contiguos y zonas duras entre estos	0.75
Residencial unifamiliar, con casas contiguas y predominio de jardines	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	0.30

6.5.5.1.4 Tiempo de concentración

El mínimo período de tiempo para alcanzar el caudal máximo a la salida de la cuenca se conoce como el tiempo de concentración. Este también se puede interpretar como el tiempo que se demora el agua en llegar a la salida de la cuenca desde el punto más alejado.

En el caso del Método Racional, con el fin de calcular el caudal de diseño, haciendo uso de las curvas IDF, el diseñador debe suponer que la duración del evento de precipitación de diseño es igual al tiempo de concentración para un sistema de alcantarillado de aguas lluvias particular.

El tiempo de concentración es función del tamaño y la forma de la cuenca en donde se localiza el tramo objeto de análisis. Si la duración del evento de precipitación fuera inferior al tiempo de concentración, no se alcanzaría el caudal pico a la salida de la cuenca. Por otro lado, si la duración de la lluvia fuera mayor que el tiempo de concentración, tanto la intensidad como el caudal de escorrentía serían menores.

Para calcular el tiempo de concentración se debe utilizar la Ecuación mostrada a continuación.

$$T_C = T_e + T_T$$

Ecuación 16

donde,

T_C = Tiempo de concentración (min)

T_e = Tiempo de entrada (min)

T_T = Tiempo de recorrido (min)

6.5.5.1.4.1 Tiempo de entrada

El tiempo de entrada, utilizado para calcular el tiempo de concentración, es el tiempo que toma el flujo superficial para viajar desde la parte más alejada de la subcuenca hasta el punto de entrada o sumidero más cercano de la red de tuberías del sistema de alcantarillado de aguas lluvias. En general, el tiempo de entrada depende de la longitud, la pendiente promedio y la naturaleza de la subcuenca, así como de la intensidad del evento de precipitación. Teniendo en cuenta la información disponible como parámetros de entrada, el diseñador debe utilizar la siguiente ecuación:

- Ecuación de la FAA¹ de los Estados Unidos

Esta ecuación se utiliza frecuentemente para el cálculo de la escorrentía superficial en áreas urbanas.

$$T_e = \frac{0.707 \times (1.1 - C) \times L^{1/2}}{S^{1/2}}$$

Ecuación 17

donde,

T_e = Tiempo de entrada (min)

C = Coeficiente de impermeabilidad (adimensional)

¹ FAA: Federal Aviation Administration

L = Longitud máxima de flujo de escorrentía superficial (m)

S = Pendiente promedio entre punto más alejado y el punto de entrada a la red (m/m)

Alternativamente, y con la aprobación previa de EMCALI EICE E.S.P., el diseñador puede utilizar las siguientes ecuaciones para el cálculo del tiempo de entrada:

- Ecuación del Soil Conservation Service (SCS):

El Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (Soil Conservation Service, SCS) desarrolló la siguiente ecuación con el fin de calcular el tiempo de entrada como función de la velocidad media de la escorrentía superficial sobre el área de drenaje y la longitud del recorrido:

$$T_e = \frac{L}{(60 \times v_s)} \quad \text{Ecuación 18}$$

donde,

T_e = Tiempo de entrada (min)

v_s = Velocidad media de escorrentía superficial (m/s)

L = Longitud máxima de flujo de escorrentía superficial (m)

En esta última ecuación, la velocidad superficial puede aproximarse por la siguiente expresión:

$$v_s = a \times S^{1/2} \quad \text{Ecuación 19}$$

donde,

v_s = Velocidad media de escorrentía superficial (m/s)

S = Pendiente promedio entre punto más alejado y el punto de entrada a la red (m/m)

a = Constante que depende del tipo de superficie (adimensional)

La constante a depende del tipo de suelo que conforma la superficie de escorrentía y puede calcularse utilizando los datos mostrados en la Tabla 5.

Tabla 5. Constante a de velocidad superficial (Tomado de Título D RAS 2017)

Tipo de superficie	a
Bosque con sotobosque denso	0,70
Pastos y patios	2,00
Áreas cultivadas en surcos	2,70
Suelos desnudos	3,15
Áreas pavimentadas y tramos iniciales de quebradas	6,50

- Fórmula de Kerby

Con el fin de calcular el tiempo de entrada, el diseñador también puede utilizar la ecuación de Kerby mostrada a continuación.

$$T_e = 1.44 \times \left(\frac{L \times m}{S^{1/2}} \right)^{0.467}$$

Ecuación 20

donde,

T_e = Tiempo de entrada (min)

L = Longitud máxima de flujo de escorrentía superficial (m)

S = Pendiente promedio entre punto más alejado y el punto de entrada a la red (m/m)

m = Coeficiente de retardo (adimensional)

El coeficiente de retardo m , puede ser calculado como función del tipo de la superficie de escorrentía, utilizando los valores mostrados en la Tabla 6 mostrada a continuación.

Tabla 6. Coeficiente de retardo m (Tomado de Título D RAS 2017)

Tipo de superficie	m
Impermeable	0,02
Suelo sin cobertura, compacto y liso	0,10
Superficie sin cobertura moderadamente rugosa	0,20
Pastos	0,30
Terrenos arborizados	0,70
Pastos densos	0,80

El tiempo de entrada mínimo a utilizar en los proyectos de EMCALI EICE E.S.P. es de 6 minutos.

6.5.5.1.4.2 Tiempo de recorrido

El tiempo de recorrido es el transcurso de tiempo que le toma al agua recorrer el sistema de tuberías que conforman la red de alcantarillado desde el punto de entrada hasta el punto de estudio o salida de la cuenca. Este tiempo es función de la velocidad media del flujo en las tuberías, así como de la longitud de éstas.

La velocidad se puede calcular utilizando las ecuaciones para el flujo uniforme en tuberías de sección circular fluyendo parcialmente llenas, tales como la ecuación de Darcy-Weisbach en conjunto con la ecuación de Colebrook-White, o la ecuación de Manning. Una vez conocida esta velocidad, el tiempo de recorrido se calcula de acuerdo con la Ecuación 24.

$$T_t = \frac{L}{(60 \cdot v)}$$

Ecuación 21

donde,

T_t = Tiempo de recorrido (min)

L = Longitud de tubería o tramo de red (m)

v = Velocidad media del flujo (m/s)

6.5.5.2 Otros métodos de cálculo de caudal

Para el cálculo del caudal de diseño de las redes de alcantarillado de aguas lluvias para EMCALI EICE E.S.P. se debe hacer uso de los métodos modernos de lluvia-escorrentía. El Método Racional descrito anteriormente puede ser utilizado únicamente cuando el área de la cuenca urbana tenga un valor inferior a 80 Ha y sus coeficientes de impermeabilidad estén completamente establecidos; además, se debe contar con la previa aprobación de EMCALI EICE E.S.P.

En caso contrario para el cálculo del caudal de aguas lluvias, se puede realizar a través de un método basado en los modelos de infiltración (Horton, SCS, Green y AMPT, entre otros) el diseñador debe obtener los hidrogramas de precipitación efectiva, a través del uso de dichos modelos, para luego determinar el hidrograma de escorrentía directa, haciendo uso de modelos lluvia-escorrentía (Método del Hidrograma Unitario, Hidrograma Unitario Sintético y SWMM, entre otros).

Los métodos a utilizar por el proyectista deben ser previamente avalados por EMCALI EICE E.S.P.

6.5.6 Medidas de control de aguas lluvias sostenibles y/o mejores prácticas de manejo de aguas lluvias (BMPs) y/o métodos alternativos de aguas lluvias.

De acuerdo a lo indicado en el Plan de Ordenamiento Territorial se deberá promover el uso de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), de modo que se amortigüen los caudales pluviales y se mejore la calidad del agua, integrándolos adecuadamente al diseño urbanístico en general.

Debido al aumento de caudales de aguas lluvias por el incremento de la precipitación y mayor impermeabilización de las zonas urbanas, se ha determinado que los sistemas de transporte y recolección de las aguas lluvias son insuficientes, por consiguiente se hace necesario formular medidas no convencionales de control de las inundaciones en las zonas urbanas, por tanto se deben formular, seleccionar y diseñar las denominadas medidas de control de las aguas lluvias Sostenibles o Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDs), entre las cuales se pueden mencionar las siguientes a implementar:

- Estanques de Retención o Detención Abiertos o cerrados
- Zanjas de Infiltración.
- Cunetas Verdes de infiltración.
- Pavimentos permeables.
- Desconexión de las aguas lluvias (entregar directamente a las vías)

Por otra parte, la escorrentía de las aguas pluviales a través de superficies diferentes, se ve afectada por los comportamientos y actividades de las personas, comportamientos y acciones que pueden contaminar los ríos y canales. Se deberá propender por la implementación del uso de prácticas de manejo de las aguas pluviales hacia la protección de la calidad de los cursos de agua. Mejores Prácticas de Manejo (BMPs) para Aguas pluviales

6.5.7 Canales en sistemas de drenaje

6.5.7.1 Consideraciones Generales

Para el caso de las aguas lluvias, el diseño puede contemplar el uso de canales abiertos. En los casos en que sea necesario proyectar un canal cuya sección sea cerrada (box culvert), debe cumplirse la condición de flujo a superficie libre. La sección del canal puede tener cualquier forma, es decir, pueden utilizarse

canales prismáticos o no, dependiendo de las consideraciones específicas, siempre y cuando se justifique su utilización y se usen las ecuaciones hidráulicas adecuadas. No son permitidos para recolección y evacuación de aguas residuales.

La proyección de los canales debe estar de acuerdo con el Plan de Ordenamiento Territorial y las reglamentaciones asociadas, en lo referente a características y localización de vías y zonas verdes aledañas a los mismos.

De acuerdo con el Plan de Ordenamiento Territorial el diseño de canales de drenaje pluvial del área de expansión urbana o de nuevas urbanizaciones en áreas con tratamiento urbanístico de desarrollo dentro del perímetro urbano, así como la ampliación de la capacidad hidráulica de canales existentes, deberá tener una capacidad hidráulica para una creciente de uno (1) en veinticinco (25) años, más un borde libre de un (1) metro.

Es importante considerar la definición de ronda y/o zona de manejo ambiental, ambas asociadas con los cauces o canales. En particular, esto está contemplado en la legislación ambiental nacional y debe ser considerado en la reglamentación de ordenamiento y desarrollo urbano. Estas franjas permiten ejecutar trabajos y labores de mantenimiento en el canal y deben ser incorporadas al espacio público como calzadas o zonas verdes. La selección de la sección transversal del canal debe tener en cuenta las dimensiones e importancia de las vías y las características de las zonas verdes, por cuanto éstas constituyen restricciones para su dimensionamiento.

6.5.7.2 Estudios previos

Para llevar a cabo el diseño de canales de drenaje de aguas lluvias, el diseñador debe realizar los estudios previos pertinentes de acuerdo con lo descrito en el Numeral 6.3.1.2 Estudios Previos, de esta norma.

6.5.7.3 Parámetros de diseño

En el caso de que sea necesario, como parte de un proyecto de diseño de sistemas de alcantarillado de aguas lluvias, diseñar un canal abierto, el diseñador debe tener en cuenta las siguientes recomendaciones y parámetros de diseño:

1. Para canales revestidos en hormigón, la velocidad máxima de flujo debe ser menor o igual que 8 m/s, y si la pendiente es elevada, el canal debe conformar una rápida escalonada, de tal forma que la energía disminuya a un valor razonable y, en caso necesario, se deberá complementar con un tanque amortiguador a la llegada, diseñado con el criterio de disipar la energía hasta un nivel apropiado para ser recibido por el canal de aguas abajo.
2. Los canales revestidos deberán diseñarse en forma tal que los colectores marginales descarguen por encima del nivel máximo de aguas del canal.
3. Siempre deberán hacerse las provisiones apropiadas de borde libre. Si eventualmente el canal de drenaje llegara a funcionar como un conducto cerrado, la profundidad máxima hidráulica de éste no podrá superar el 90% de la altura total del conducto. En todo caso el borde libre no podrá ser inferior a 1.00 m.
4. Las curvas horizontales deberán diseñarse teniendo en cuenta las consideraciones apropiadas de peralte, con las justificaciones para cada caso.
5. La concepción, el trazado y el dimensionamiento del canal deberán estar justificadas plenamente desde la etapa del diseño.

6. Siempre deberá tenerse en cuenta las consideraciones correspondientes al efecto o impacto ambiental del canal.
7. En el diseño de los canales deberá tenerse en cuenta la existencia de caudales vertidos por otros canales y tuberías de aguas lluvias existentes o proyectadas dentro del sistema básico de drenaje.
8. Cuando los canales entreguen el agua a cuerpos naturales de agua, deberá tenerse en cuenta la cota con la que debe llegar el canal para hacer un empalme hidráulico apropiado.
9. En el diseño de los canales con los cruces viales deberá tenerse en cuenta las consideraciones del Plan de Ordenamiento Territorial vigente.

6.5.7.4 Métodos de cálculo de canales

Para el diseño de canales prismáticos que conformen sistemas de drenaje de aguas lluvias, deben utilizarse las ecuaciones de flujo uniforme. Adicionalmente, una vez finalizado el diseño, deben utilizarse modelos de flujo no permanente, con el fin de verificar todas las condiciones hidráulicas bajo diferentes escenarios hidrológicos, especialmente cuando las áreas tributarias son relativamente grandes y cuando sea necesario tener en cuenta los efectos de mitigación de crecientes en las redes y canales para el dimensionamiento de estos últimos.

El diseño de canales para el drenaje de aguas lluvias debe justificar el método de cálculo para la sección transversal del canal de entrega. Se debe utilizar la ecuación de Manning, o alternativamente las ecuaciones de Chézy o Bazin. En el caso de que los canales tengan rugosidad compuesta, se recomienda el uso de la fórmula de Strickler.

En todos los casos debe justificarse el factor de fricción o coeficiente de pérdidas por fricción utilizados. En la Tabla 7 se establecen los coeficientes n de Manning para diferentes materiales.

**Tabla 7. Coeficientes de rugosidad de Manning
(Tomada de Título D del RAS 2017)**

Naturaleza del recubrimiento del canal		N de Maning ² (s/m ^{1/3})
Canales revestidos	Asfalto	0,013 – 0,017
	Mampostería o bloques	0,012 – 0,018
	Concreto	0,011 – 0,020
	Empedrado o cubierto de escombros	0,020 – 0,035
	Cubierta vegetal	0,030 – 0,040
Canales excavados sin revestir	Cubierta de tierra, alineamiento recto y uniforme	0,020 – 0,030
	Cubierta de tierra, alineamiento curvo y uniforme	0,025 – 0,040
	Excavado en roca	0,030 – 0,045
	Canales excavados sin mantenimiento	0,050 – 0,140
Canales naturales (menores de 30 m de longitud)	Sección bastante regular	0,030 – 0,070
	Sección irregular con algunos encharcamientos	0,040 – 0,100

En todos los casos, el perfil longitudinal del flujo correspondiente al caudal máximo para el evento de lluvia de diseño, definido por un periodo de retorno establecido por la autoridad competente, debe calcularse para una condición de flujo gradualmente variado, considerando el control en el canal natural de entrega,

² Los valores más bajos se utilizan usualmente para canales bien construidos y mantenidos

siguiendo todas las consideraciones establecidas en los numerales 6.6.1 y 6.6.2 de esta norma. Se debe utilizar la ecuación general para las curvas de remanso establecida mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{\text{Sen}\theta - S_f}{\text{Cos}\theta - Fr_m^2} \quad \text{Ecuación 22}$$

donde, $\theta = \text{Tan}^{-1}(S_0)$

$Fr_m = Fr$, si el canal es rectangular.

$S_f = dhf/dx$. Pendiente hidráulica

En esta última ecuación, θ representa el ángulo de la pendiente del fondo del canal

El diseño debe justificar el método de cálculo de flujo gradualmente variado, pero se recomienda el uso de programas de análisis de flujo gradualmente variado por diferencias finitas o por elementos finitos.

Una vez finalizado el diseño, éste debe ser comprobado para las condiciones de flujo no permanente correspondientes al evento de lluvia de diseño, haciendo uso de las ecuaciones de Saint-Venant, tal como se describe en el Numeral 6.7.3. de esta norma.

6.5.7.5 Velocidades en los canales de drenaje de aguas lluvias

En general, la velocidad mínima permisible está determinada por el valor que evite la sedimentación de los materiales, producto del arrastre ocasionado por la escorrentía superficial. Debido a la naturaleza de estos materiales, se recomienda un valor de velocidad mínima de 0.6 m/s.

La velocidad máxima en el canal de descarga depende del caudal de diseño, del radio hidráulico y del material de las paredes. Además, deben tenerse en cuenta los siguientes requisitos:

- a. La velocidad máxima en los canales de drenaje depende del riesgo de erosión que éstos puedan sufrir, el cual es función del material en que estén construidos.
- b. En la Tabla 8 se dan algunos valores de referencia de velocidades máximas en canales revestidos. En general, los canales de entrega de caudales de drenaje deben estar revestidos en un material no erosionable.

Para cumplir con los requisitos de velocidad máxima en el canal de drenaje y cuando las condiciones topográficas locales del sitio de descarga lo exijan, el canal de drenaje debe diseñarse en forma escalonada.

6.5.7.6 Pendientes de los canales

En lo referente a las pendientes de los canales de drenaje de aguas lluvias, el diseñador debe tener en cuenta los siguientes requisitos:

1. La pendiente mínima de diseño debe ser tal que se evite la sedimentación de las partículas producto del lavado producido por la escorrentía superficial.
2. La pendiente máxima de diseño de canales de drenaje debe ser aquella para la cual la velocidad de agua no sea superior a los valores establecidos en la Tabla 8. Además, deben cumplirse los siguientes requisitos adicionales:

- a. En el caso de que las condiciones topográficas impliquen pendientes superiores a la pendiente máxima que no produzca erosión, el canal debe diseñarse en forma escalonada. El escalonamiento debe ser obtenido por estructuras que proporcionen caídas verticales o caídas inclinadas.
- b. En una caída vertical, el cambio de cota de agua debe hacerse en caída libre.
- c. Al final de una caída libre debe haber una estructura de disipación de energía de forma tal que el flujo se entregue con una energía cinética igual a la que tenía antes de la caída.
- d. En una rápida (caída inclinada con una pendiente alta), el agua pasará de un flujo subcrítico a un flujo supercrítico a lo largo de un canal inclinado construido en un material no erosionable capaz de resistir en forma adecuada las velocidades que se presentan para permitir la concordancia entre los tramos superior e inferior. Aguas abajo de la rápida debe existir una estructura de disipación de energía al cauce natural u otro tramo de baja pendiente.
- e. Al final de la rápida debe existir una estructura de disipación de energía capaz de absorber la energía cinética extra del agua al llegar a la parte inferior de la rápida. El caudal se debe entregar con una energía cinética igual a la que tenía antes del inicio de la rápida.
- f. En el punto de entrega del canal al cauce de drenaje natural, se debe diseñar una estructura de entrega que evite problemas de socavación local en ese sitio o socavación generalizada a lo largo del cuerpo receptor.

**Tabla 8. Velocidades máximas en canales revestidos (m/s)
(Tomada del Título D del RAS 2017)**

Tipo de revestimiento	Características del material	Velocidad máxima (m/s)
Revestimiento de hormigón (agua libre de arenas y piedras)		8,0
Mampostería convencional o en piedra		3,7
Gaviones (0,5 m y mayor)		4,7

6.6 ALCANTARILLADO COMBINADO

El sistema de alcantarillado combinado se implementará en los sectores que explícitamente autorice EMCALI EICE E.S.P., sectores donde existan situaciones previas de alcantarillados combinados o características espaciales, topográficas y/o culturales que limiten el uso de los sistemas separados, o cuando desde la etapa de diseño se compruebe que es la mejor alternativa, teniendo en cuenta los costos de tratamiento y disposición de las aguas residuales.

6.6.1 Caudal de diseño

El caudal de diseño de una red de alcantarillado combinado para EMCALI EICE E.S.P. es igual al caudal de diseño de aguas lluvias, calculado de acuerdo con el período de retorno de diseño más el caudal de aguas residuales. El caudal de aguas residuales está compuesto por el caudal de aguas residuales domésticas, el caudal de aguas residuales industriales, el caudal de aguas comerciales, el caudal de aguas oficiales y los caudales de infiltración; es decir, el caudal de aguas residuales no debe incluir las conexiones erradas.

Para las tuberías localizadas aguas abajo de las estructuras de alivio en alcantarillados combinados, el caudal de diseño debe ser el caudal de aguas residuales, sin incluir las conexiones erradas, para toda la cuenca de drenaje localizada aguas arriba de dicho aliviadero, más el caudal aferente propio, más un

caudal adicional de aguas lluvias no aliviado equivalente a un porcentaje de dicho caudal total de aguas residuales establecido por el diseñador, con el fin de evitar problemas de sobrecargas y taponamientos en dicha tubería y teniendo en cuenta el tipo de aliviadero y la relación entre los caudales de aguas lluvias y de aguas residuales.

El diseñador debe establecer el comportamiento hidráulico del sistema de alcantarillado combinado, mediante el uso de un modelo hidráulico, para las condiciones de caudal en período seco en el momento de puesta en marcha del proyecto, así como para las condiciones de caudal de tiempo seco para el final del período de diseño. Particularmente, se debe garantizar el cumplimiento del criterio de autolimpieza para los caudales mínimos.

6.6.2 Parámetros de diseño

Los parámetros de diseño para las redes de alcantarillados combinados corresponden a los establecidos para los sistemas separados de alcantarillado de aguas residuales y de alcantarillado de aguas lluvias. El diseñador debe tener en cuenta todos los parámetros y requerimientos para los sistemas de aguas residuales y de aguas lluvias establecidos en los Numerales 6.4 y 6.5 de esta Norma. En general, los valores máximos y mínimos que gobiernan el diseño de los sistemas combinados corresponden a las redes de alcantarillado de aguas lluvias. Particularmente, en el caso de los diámetros nominales mínimos de las tuberías, para los sistemas de alcantarillado de aguas combinadas de EMCALI EICE E.S.P., el diámetro nominal mínimo es de 250 mm (10 pulg.).

El diseño debe tener en cuenta los conceptos de Integralidad del Drenaje Urbano, específicamente, el diseño de sistemas de alcantarillado combinado debe considerar tener en cuenta el efecto que tienen los caudales de agua aliviados, sobre el comportamiento hidráulico y de calidad de los cuerpos receptores de agua, para realizar un diseño óptimo desde el punto de vista de la ubicación de los aliviaderos, garantizando siempre el cumplimiento del PSMV. Así mismo, el diseño de un sistema combinado debe asegurar que la calidad del agua que se transporte a las PTARs, sea aquella que permita una operación óptima en todos los procesos de tratamiento.

6.7 HIDRAULICA DE LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

6.7.1 Régimen de flujo para el diseño hidráulico de tuberías parcialmente llenas

Las tuberías de alcantarillado deben diseñarse como conducciones a flujo libre por gravedad. En general, el flujo de aguas residuales y/o aguas lluvias a través de una red de alcantarillado, utilizada para su recolección y transporte, no es permanente.

Sin embargo, el diseño hidráulico de una tubería fluyendo parcialmente llena se hace bajo la suposición de que en ésta existe flujo uniforme. Esta suposición es válida particularmente para tuberías de diámetros nominales inferiores a 350 mm.

Para tuberías con diámetros nominales entre 350 mm y 900 mm, el diseño debe verificarse bajo la condición de flujo gradualmente variado. Esto también se aplica para los canales y otros conductos que formen parte del sistema de recolección y transporte de aguas residuales y/o lluvias.

Para tuberías con diámetros nominales superiores a 900 mm el diseño se debe verificar bajo la condición de flujo no permanente, teniendo en cuenta la tubería diseñada y las demás tuberías interconectadas a ese sistema.

En todo caso, cuando la velocidad en una tubería de alcantarillado sea superior a 4 m/s se debe hacer un análisis del comportamiento hidráulico detallado del tramo, en particular de las estructuras de disipación de energía y las cámaras de inspección o de caída que existan en los extremos de éste.

6.7.2 Flujo Uniforme

Para el dimensionamiento de la sección transversal de una tubería fluyendo parcialmente llena, bajo la condición de flujo uniforme, se pueden utilizar la ecuación de Darcy-Weisbach en conjunto con la ecuación de Colebrook-White o la ecuación de Manning, teniendo en cuenta las restricciones para su aplicabilidad.

La ecuación de Darcy-Weisbach es la ecuación físicamente basada para representar el flujo uniforme en diferentes tipos de ducto, y cubre todo el rango del flujo turbulento desde hidráulicamente liso hasta hidráulicamente rugoso. En la práctica, la ecuación de Manning, es la más utilizada; sin embargo, esta ecuación es aplicable únicamente para el caso de flujo turbulento hidráulicamente rugoso.

6.7.2.1 Ecuación de Darcy-Weisbach en conjunto con la ecuación de Colebrook-White

La ecuación de Darcy-Weisbach es válida para todo el rango de flujo turbulento, desde flujo turbulento hidráulicamente liso hasta flujo turbulento hidráulicamente rugoso. La Ecuación 26 muestra la ecuación de Darcy-Weisbach.

$$h_f = f \frac{L v^2}{d 2g} \quad \text{Ecuación 23}$$

donde,

h_f = Pérdidas por fricción (m).

f = Factor de fricción de Darcy (adimensional).

L = Longitud de la tubería (m).

v = Velocidad del flujo (m/s).

D = Diámetro interno real de la tubería (m).

g = Aceleración de la gravedad (m/s²).

Para el cálculo del factor de fricción de Darcy, se debe utilizar la ecuación de Colebrook White, mostrada a continuación:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{k_s}{3.7d} + \frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{f}} \right) \quad \text{Ecuación 24}$$

donde,

k_s = Rugosidad absoluta (m). Ver tabla 9

Re = Número de Reynolds (adimensional).

Combinando las dos ecuaciones anteriores, es posible establecer la siguiente ecuación que relaciona el caudal que pasa por la tubería, bajo condición de flujo uniforme, como función de la rugosidad absoluta de la tubería, del radio hidráulico de la sección transversal, de la viscosidad cinemática del agua y de la pendiente de la tubería.

$$Q = -2A\sqrt{8gRS_o} \log_{10} \left(\frac{k_s}{14.8R} + \frac{2.51\nu}{4R\sqrt{8gRS_o}} \right)$$

Ecuación 25

donde,

Q = Caudal del flujo (m³/s).

R = Radio hidráulico (m).

A = Área mojada transversal (m²).

S_o = Pendiente longitudinal de la tubería (m/m).

ν = Viscosidad cinemática (m²/s)

6.7.2.1.1 Coeficientes de rugosidad y rugosidad absoluta

La ecuación de Darcy-Weisbach utilizada para el dimensionamiento de ductos en sistemas de alcantarillado, en conjunto con la ecuación de Colebrook White Swamma Jain para el cálculo del factor de fricción, se considera como la ecuación teórica más completa, debido a que es aplicable a todos los regímenes de flujo turbulento, desde hidráulicamente liso hasta hidráulicamente rugoso, por lo cual puede incluir materiales modernos en los cuales el tamaño de la rugosidad implica que en la mayoría de los casos se presente flujo hidráulicamente liso. El factor de fricción de Darcy depende del número de Reynolds del flujo y de la rugosidad relativa del ducto, entendida ésta como la relación entre la rugosidad absoluta de la pared interna de la tubería y el diámetro de ésta. En la Tabla 9 se muestran las rugosidades absolutas para diferentes materiales en tuberías y ductos para sistemas de alcantarillado.

Tabla 9. Coeficientes de rugosidad absoluta k_s

Material	k_s (mm)
Concreto ³	0.3 – 3.0
Asbesto-Cemento	0.03
Arcilla Vitrificada (Gres)	0.15
Hierro fundido	0.15
Poliéster reforzado con fibra de vidrio (GRP)	0.03
Hierro dúctil	0.25
Acero	0.046
Polietileno	0.03
Polivinilo de Cloruro (PVC)	0.0015
CCP (ACCP)	0.12

6.7.2.2 Ecuación de Manning

El uso de la ecuación de Manning para el diseño de tuberías en sistemas de alcantarillados está limitado al caso del flujo turbulento hidráulicamente rugoso.

6.7.2.2.1 Generalidades

³ Este rango de valores para las tuberías de concreto es función del tipo de proceso de fabricación y el tipo de formaleta, en caso de que se requiera. Por ejemplo, el valor inferior corresponde al caso de formaleta metálica.

Para el dimensionamiento de la sección transversal de la tubería también se puede utilizar la ecuación de Manning, mostrada a continuación, la cual es aplicable únicamente para el caso de flujo uniforme turbulento hidráulicamente rugoso:

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad \text{Ecuación 26}$$

Esta expresión se puede convertir en la siguiente ecuación que relaciona el caudal que pasa por la tubería como función del área mojada, del radio hidráulico, de la pendiente de la tubería y del coeficiente de rugosidad de Manning.

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S_o^{1/2} \quad \text{Ecuación 27}$$

Las variables de las ecuaciones 28 y 29 son:

v = Velocidad media del flujo (m/s).

n = Coeficiente de rugosidad de Manning Ver tabla 10

Q = Caudal del flujo (m³/s).

R = Radio hidráulico (m).

A = Área mojada transversal (m²).

S_o = Pendiente longitudinal de la tubería (m/m).

El coeficiente de rugosidad, n de Manning, mostrado en las dos ecuaciones anteriores corresponde al coeficiente que presenta la tubería fluyendo totalmente llena. Para el cálculo del coeficiente correspondiente a otras profundidades, se debe utilizar la gráfica mostrada a continuación, con el fin de calcular el factor por el cual debe multiplicarse dicho coeficiente en caso de que la profundidad de flujo sea diferente al diámetro total interno de la tubería.

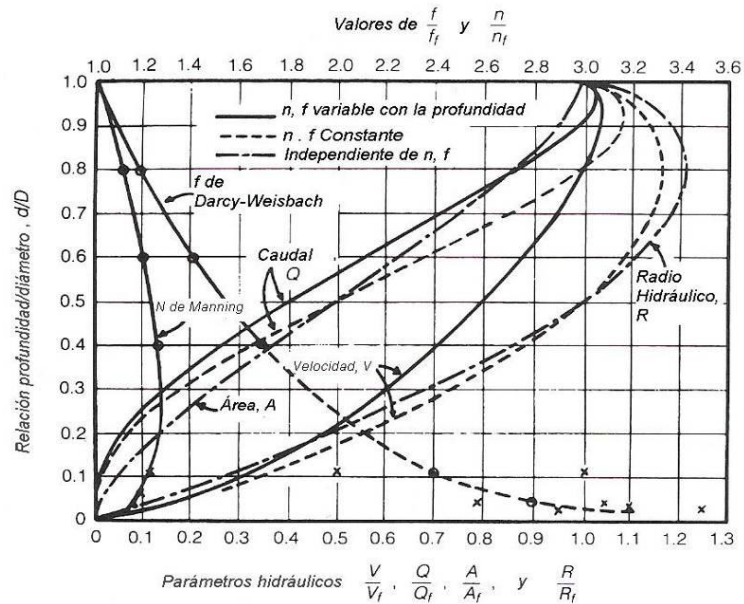


Figura 1. Coeficiente de rugosidad correspondiente a profundidades del flujo, diferentes al diámetro total interno de la tubería⁴

6.7.2.2.2 Coeficientes de rugosidad Manning

En este caso, el coeficiente de rugosidad n de Manning que debe utilizarse depende, en general, del tipo de material del ducto. El valor de este coeficiente para tuberías de alcantarillado se encuentra definido en la Tabla 10. Debe tenerse en cuenta que los valores mostrados en esta tabla corresponden a la situación de flujo completamente lleno en la tubería. Para el cálculo del coeficiente n de Manning definitivo, el diseñador deberá afectar el coeficiente dado anteriormente por el factor correspondiente a la relación entre la profundidad del flujo y el diámetro interno de la tubería de acuerdo con lo establecido en el Numeral 6.7.2.2.1 de esta norma.

Tabla 10. Coeficientes n de Manning

Material	n
Concreto	0.013
Cemento	0.013
Canales en ladrillo	0.015
Hierro fundido	0.013
Poliéster reforzado con fibra de vidrio (GRP)	0.010
Hierro dúctil con revestimiento de mortero	0.013
Acero	0.012
Polietileno de Alta Densidad	0.010
Arcilla Vitrificada (Gres)	0.012
Polivinilo de Cloruro liso	0.009
Polivinilo de Cloruro espiralado	0.010

⁴ Fuente: Design and Construction of Urban Stormwater Management Systems. ASCE, Manual and Reports of Engineering Practice N° 77, 1982.

6.7.2.3 Ecuación para el cálculo del esfuerzo cortante

En tuberías de alcantarillado, se debe garantizar que los sedimentos que ingresen al sistema puedan moverse por acción del flujo hacia aguas abajo de las tuberías. Para esto, se debe garantizar un esfuerzo cortante mínimo, el cual depende del tipo de sistema de alcantarillado objeto del diseño. Con el fin de calcular el esfuerzo cortante bajo la condición de flujo uniforme se debe utilizar la Ecuación mostrada a continuación.

$$\tau = \gamma R \text{ Sen}(\tan^{-1}(S_o)) \quad \text{Ecuación 28}$$

donde:

τ = Esfuerzo cortante en la pared de la tubería (N/m² ó Pa).

γ = Peso específico del agua (N/m³).

R = Radio hidráulico (m).

S_o = Pendiente del canal (m/m).

Esta ecuación relaciona el esfuerzo cortante con las propiedades físicas del agua, el radio hidráulico de la sección transversal y la pendiente de la tubería.

6.7.2.4 Régimen para flujo Uniforme

Con respecto al régimen de flujo, el flujo uniforme en una tubería o ducto de un sistema de alcantarillado, puede ser crítico, subcrítico o supercrítico de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} Fr = 1.0 & \quad \text{Flujo Crítico} \\ Fr < 1.0 & \quad \text{Flujo Subcrítico} \\ Fr > 1.0 & \quad \text{Flujo Supercrítico} \end{aligned} \quad \text{Ecuación 29}$$

en donde el número de Froude está descrito mediante las ecuaciones 32 y 33 mostradas a continuación:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gD}} \quad \text{Ecuación 30}$$

donde:

Fr = Número de Froude (adimensional).

g = Aceleración de la gravedad (m/s²).

D = Profundidad hidráulica (m).

v = Velocidad de flujo (m/s).

$$D = \frac{d}{8} \left(\frac{\theta - \text{sen}\theta}{\text{sen}(\theta/2)} \right) \quad \text{Ecuación 31}$$

donde:

θ = Ángulo subtendido entre el centro de la sección transversal y los puntos de contacto entre la superficie libre y la circunferencia de la tubería (rad).

d = Diámetro interno de la tubería (m).

Una de las características del flujo crítico y cuasicrítico (cuando el número de Froude se encuentra entre 0.7 y 1.5 aproximadamente) es su inestabilidad y la variabilidad de la profundidad de flujo alrededor de la profundidad crítica de flujo. Por consiguiente, se recomienda que el diseño bajo flujo uniforme evite aquellas velocidades de flujo que impliquen un número de Froude en este intervalo. Si esto no es posible, el diseño debe analizar y prever todos los efectos que la inestabilidad inherente del flujo cuasicrítico tenga sobre las estructuras de llegada al final del ducto diseñado y las formas apropiadas para resolver dichos problemas. En particular, se debe entender el efecto que se tiene sobre la posible socavación de la cámara de llegada y la generación de ruidos.

Si el régimen de flujo es supercrítico, el diseño debe poner especial cuidado en la posible generación de ondas translacionales en las tuberías. La presencia de este tipo de ondas va acompañada de generación de ruidos molestos en las tuberías de alcantarillados, así como posibles problemas de socavación por choques del chorro en la cámara de aguas abajo.

En caso de que se tenga un régimen de flujo supercrítico en las tuberías, el diseño debe analizar y prever los problemas causados por cambios bruscos de pendiente, la posible presencia de resaltos hidráulicos en el interior de las tuberías, y las formas apropiadas para resolver la problemática. En caso de que existan problemas de ruido causados por el flujo, el diseño debe analizar en cada caso particular la forma de controlar el ruido de las tuberías.

6.7.3 Flujo gradualmente variado

En caso de que alguna de las tuberías que conforma la red de alcantarillado objeto del diseño tenga un diámetro nominal superior a 350 mm (14") y que ninguna de las tuberías tenga un diámetro nominal superior a 900 mm (36"), el cálculo de la línea piezométrica y la línea de energía total debe realizarse para las condiciones de flujo gradualmente variado. Para esto, el diseñador debe tener en cuenta todos los controles de flujo que se encuentren en el sistema de alcantarillado, así como las pérdidas por fricción y las pérdidas menores en cada uno de los ductos.

Para el cálculo del flujo gradualmente variado se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones fundamentales y restricciones:

- La pendiente del fondo de cada uno de los ductos debe ser menor al 10%, con el fin de poder utilizar la suposición de distribución hidrostática de presiones a través de la sección de cada tubo.
- El flujo debe ser permanente.
- El flujo debe ser de fase única, es decir no puede haber aire atrapado en el flujo.
- La rugosidad de cada uno de los conductos debe ser constante a lo largo del perímetro mojado de cada uno de ellos.
- Las pérdidas por fricción para flujos no permanentes se pueden modelar de acuerdo con las ecuaciones de resistencia utilizadas para el caso del flujo uniforme.

- En todos los casos, para propósitos de cálculo se deben utilizar los diámetros internos reales de las tuberías, así como las dimensiones internas reales de ductos con secciones transversales diferentes a la sección circular.
- En caso de que todos los ductos que conforman el sistema de alcantarillado cumplan las anteriores restricciones, se debe utilizar la Ecuación 32 para el cálculo de los perfiles de flujo.

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_0 - S_f}{1 - Fr^2} \quad \text{Ecuación 32}$$

donde

dy/dx = Derivada de la profundidad de flujo con respecto a la distancia longitudinal del canal (adimensional).

Fr = Número de Froude (adimensional)

S_0 = Pendiente del canal (m/m).

S_f = Pendiente de fricción (m/m).

En caso de que alguno o varios de los ductos que conforman la red de alcantarillado tengan pendientes superiores al 10%, se debe hacer una corrección al término de presiones, debido a que en las tuberías no existe una distribución hidrostática de presiones. En este caso, para el cálculo de los perfiles de flujo gradualmente variado se debe utilizar la Ecuación 33.

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_0 \cdot \cos\theta - S_f}{\cos\theta - Fr^2} \quad \text{Ecuación 33}$$

donde, $\theta = \text{Tan}^{-1}(S_0)$

En esta última ecuación, θ representa el ángulo de la pendiente del fondo del canal o ducto bajo consideración.

6.7.3.1 Cálculo del Flujo gradualmente variado

Para llevar a cabo el cálculo del flujo gradualmente variado en sistemas de alcantarillado, el diseñador debe seguir los siguientes pasos:

- Calcular la profundidad del flujo uniforme en cada una de las tuberías para el caudal de diseño, o aquellos caudales para los cuales se debe hacer la verificación del comportamiento hidráulico.
- Calcular la profundidad crítica para cada una de las tuberías correspondiente al caudal de diseño y aquellos otros caudales para los cuales se debe verificar el comportamiento hidráulico del sistema.
- Calcular la pendiente crítica para cada uno de los ductos que conforman la red de alcantarillado, estableciendo en cada uno de ellos si la pendiente real es crítica, subcrítica o supercrítica.

- Para cada uno de los ductos definir el control y la dirección en que éste afecta la hidráulica del sistema.
- Calcular en forma cualitativa el perfil del flujo gradualmente variado.
- Utilizando cualquier método de cálculo de flujo gradualmente variado, tales como los mostrados más adelante en este numeral, calcular el perfil real del flujo en cada una de las tuberías.
- Verificar las singularidades que se encuentren en el sistema, especialmente aquellos casos en los cuales se va a presentar resalto hidráulico dentro de los ductos del sistema y la localización de dicho resalto.

Para llevar a cabo el cálculo del flujo gradualmente variado se pueden utilizar los siguientes métodos:

6.7.3.1.1 Método del paso directo

Cuando los ductos del sistema estén conformados por tuberías o canales prismáticos, los perfiles de flujo gradualmente variado pueden calcularse utilizando el método del paso directo, mediante el cual la ecuación diferencial de flujo gradualmente variado (Ecuación 32 o Ecuación 33) se puede aproximar, mediante la siguiente ecuación de diferencias finitas:

$$\Delta x = \frac{\Delta E}{S_0 - \left(\frac{n^2 Q^2}{A^2 R^{4/3}} \right)_m} \quad \text{Ecuación 34}$$

donde:

Δx = Distancia longitudinal entre dos secciones (m).

ΔE = Cambio de la energía específica (m)

n = Coeficiente de Manning (s/m^{1/3}).

S_0 = Pendiente del canal (m/m).

Q = Caudal (m³/s).

A = Área mojada transversal (m²).

R = Radio hidráulico (m).

6.7.3.1.2 Método del paso estándar

En caso de que alguno de los ductos que conforman el sistema de alcantarillado no sea prismático, es necesario utilizar el método del paso estándar, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$z_1 + y_1 + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + y_2 + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} + h_f + h_e \quad \text{Ecuación 35}$$

donde:

z_1 = Elevación del punto 1 sobre el plano de referencia (m).

z_2 = Elevación del punto 2 sobre el plano de referencia (m).

y_1 = Profundidad de agua en el punto 1 (m).

y_2 = Profundidad de agua en el punto 2 (m).

v_1 = Velocidad del flujo en la sección 1 (m/s).

v_2 = Velocidad del flujo en la sección 2 (m/s).

h_f = Pérdidas por fricción (m).

h_e = Pérdidas por remolinos (m).

α = Coeficiente de coriolis (-).

g = Aceleración debido a la gravedad (m/s²)

6.7.3.1.3 Métodos de integración numérica

La ecuación diferencial que describe los perfiles de flujo gradualmente variados puede solucionarse utilizando cualquier método de integración numérica de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$\int_{x_i}^{x_{i+1}} dx = x_{i+1} - x_i = \int_{y_i}^{y_{i+1}} \left(\frac{1 - Fr^2}{S_o - S_f} \right) dy = \int_{y_i}^{y_{i+1}} g(y) dy \quad \text{Ecuación 36}$$

$$L = x_n - x_0 = (y_{i+1} - y_i) \cdot \left[\frac{g(y_0) + g(y_f) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} g(y_i)}{2} \right] \quad \text{Ecuación 37}$$

donde:

dx = Cambio en la distancia horizontal del canal (m).

dy = Cambio en la profundidad del agua (m).

x_i = Abscisa en la sección i del incremental de área (m).

x_{i+1} = Abscisa en la sección i+1 del incremental de área (m).

y_i = Profundidad de flujo en la sección i (m).

y_{i+1} = Profundidad de flujo en la sección i+1 (m).

Fr = Número de Froude (adimensional).

S_f = Pendiente de fricción (m/m).

S_0 = Pendiente del canal (m/m).

x_0 = Abscisa de la sección inicial de cálculo (m).

x_n = Abscisa de la sección final de cálculo (m).

y_0 = Profundidad de flujo en la sección inicial de cálculo (m).

y_f = Profundidad de flujo en la sección final de cálculo (m).

Los cálculos de los perfiles de flujo gradualmente variado deben llevarse a cabo utilizando cualquier programa de computador que tenga capacidad de análisis de flujo gradualmente variado para regímenes subcrítico, crítico y supercrítico de flujo. El programa de análisis debe permitir casos de aumento de caudal por entrada de aguas al sistema de alcantarillado o pérdidas de caudal las cuales pueden ocurrir específicamente en los alivios en alcantarillados combinados.

Cualquier programa utilizado para el caso del flujo gradualmente variado debe tener la posibilidad de incluir pérdidas menores, tanto al final de cada uno de los ductos como a lo largo de éstos.

En caso de que el diseñador cuente con un programa de análisis de flujo no permanente en sistemas de alcantarillado, el programa correspondiente podrá utilizarse para el cálculo del flujo gradualmente variado utilizando como condiciones de entrada caudales constantes en lugar de hidrogramas de creciente de aguas lluvias o hidrogramas de entrada de aguas residuales en cada uno de los nodos.

6.7.4 Flujo no permanente en sistemas de alcantarillado

En caso de que alguno de los ductos que conforman la red de alcantarillado objeto del diseño, tenga un diámetro nominal superior a 900 mm (36"), el diseño debe incluir el análisis de flujo no permanente, mediante el uso de un programa basado en la solución de las ecuaciones de Saint Venant. El análisis de flujo no permanente permite un mejor conocimiento del comportamiento hidráulico del sistema en redes de alcantarillado extensas y con diámetros grandes; para estos casos, la aproximación de Flujo Gradualmente Variado puede invalidarse porque no tiene en cuenta los términos de almacenamiento temporal en los tramos en que se divide la red.

Las pérdidas por fricción para flujos no permanentes se pueden modelar de acuerdo con las ecuaciones de resistencia utilizadas para el caso del flujo uniforme, tal como se estableció en el Numeral 6.7.3 de esta norma.

Con el fin de llevar a cabo en análisis de flujo no permanente, se deben tener en cuenta las siguientes restricciones:

Se debe suponer que en el sistema de alcantarillado el flujo es unidimensional. Esto quiere decir que las variaciones de velocidad tanto en la dirección vertical como a lo ancho del conducto deben ser pequeñas y que no existan corrientes secundarias importantes. Esto último implica que dentro del tramo no deben existir cambios forzados de dirección del conducto ni existencia de zonas de flujo muertas.

Como el flujo es unidimensional, la superficie del flujo debe permanecer horizontal en sentido perpendicular a las líneas de corriente, es decir a lo ancho del conducto.

La pendiente del fondo de cada uno de los ductos debe ser baja (So menor al 10%) de tal forma que la distribución de presiones sea hidrostática en la sección transversal del ducto. En caso contrario, se debe

incluir el término de corrección de distribución de presiones en las ecuaciones de conservación de momentum de Saint Venant, como se muestra a continuación:

$$p = \rho g y \cos^2(\theta) \quad \text{Ecuación 38}$$

El flujo debe variar gradualmente de tal forma que no existan aceleraciones verticales importantes que afecten la distribución de presiones. Ésta debe seguir siendo hidrostática en el caso de ductos de baja pendiente, o debe incluir el término de corrección de presiones mostrado en la Ecuación para casos contrarios.

El eje longitudinal del conducto, es decir la dirección principal del flujo, debe ser aproximadamente recto.

El flujo debe ser de fase única, es decir, no puede haber introducción importante de aire al sistema.

Las longitudes de onda deben ser grandes comparadas con las profundidades de flujo en los ductos. De esta forma se asegura que en todas partes el flujo sea paralelo al fondo, es decir, la aceleración vertical puede ser despreciable y se puede adoptar la condición de presión hidrostática a lo largo de la vertical. En caso de ductos con altas pendientes, la variación de la presión debe seguir siendo aquella que incluya la corrección por alta pendiente.

El programa utilizado para el caso del flujo no permanente debe tener la posibilidad de incluir pérdidas menores, tanto al final de cada uno de los ductos como a lo largo de éstos.

En todos los casos, para propósitos de cálculo se deben utilizar los diámetros internos reales de las tuberías, así como las dimensiones internas reales de ductos con secciones transversales diferentes a la sección circular.

El programa de análisis de flujo no permanente debe permitir casos de aumento de caudal por entrada de agua al sistema de alcantarillado o pérdidas de caudal las cuales pueden ocurrir específicamente en los alivios en alcantarillados combinados.

Las ecuaciones de Saint Venant que deben tenerse en cuenta para el cálculo del flujo no permanente en sistemas de alcantarillado son las siguientes:

Ecuación de conservación de la masa

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} - q = 0 \quad \text{Ecuación 39}$$

donde,

Q = Caudal de flujo en el conducto (m³/s).

A = Área mojada transversal del conducto (m²).

q = Caudal lateral en el conducto (m²/s).

x = Distancia longitudinal entre dos secciones (m).

t = Tiempo de cálculo (s).

Ecuación de conservación del momentum lineal

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\beta Q^2 / A)}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial y}{\partial x} + S_f + S_e \right) - \beta q v_x = 0 \quad \text{Ecuación 40}$$

donde,

Q = Caudal de flujo en el conducto (m³/s).

A = Área mojada transversal del conducto (m²).

q = Caudal lateral en el conducto (m²/s).

x = Distancia longitudinal entre dos secciones (m).

t = Tiempo de cálculo (s).

g = Aceleración de la gravedad (m/s²).

y = Profundidad de agua en el conducto (m).

S_f = Pendiente de fricción (m/m).

S_e = Pendiente de pérdidas menores (m/m).

v_x = Velocidad en la dirección del flujo (m/s).

β = Coeficiente de Boussinesq (no uniformidad en la distribución de velocidad en la sección transversal del conducto).

El análisis de flujo no permanente en la red de alcantarillado se debe hacer para la condición de caudal correspondiente al período de diseño y, en el caso de alcantarillados de aguas residuales, para la condición de caudal correspondiente a la entrada en operación del sistema. En el caso de ampliaciones a la red de alcantarillado operada por EMCALI EICE E.S.P. que se conecten a sistemas de colectores o interceptores importantes, el diseñador debe llevar a cabo el análisis de flujo no permanente no solamente para la red objeto de diseño, sino con el objetivo de simular la interacción de ésta con el sistema existente.

6.8 VIGENCIA DE APROBACION A LOS DISEÑOS EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

Las condiciones de prestación del servicio de alcantarillado pueden variar en el tiempo por razones de tipo técnico, normativo o económico; por tanto, todo proyecto revisado y/o aprobado por EMCALI EICE ESP tiene vigencia de cinco (5) años, contados a partir del oficio de aprobación del diseño y/o fecha del sello de la Unidad de Ingeniería de la GUENAA en los planos, pasado este tiempo debe ser presentada nuevamente la solicitud de actualización de su vigencia en la Unidad de Ingeniería. Esta solicitud debe estar acompañada del Informe Técnico en el que se indique si existen modificaciones al proyecto inicialmente aprobado y así EMCALI EICE ESP determinará la actualización de la vigencia del proyecto por oficio o si requiere ser presentado nuevamente para revisión y aprobación.

Si durante la vigencia del proyecto aprobado se presentan modificaciones: en caso de que la capacidad de la infraestructura se vea comprometida por modificación en la normatividad nacional y/o local, en el Plan

de Ordenamiento Territorial del municipio en que se pretenda desarrollar el proyecto, en el cambio de proyecto original a desarrollar, por modificaciones del esquema vial y urbanístico aprobado por el Departamento de Administrativo de Planeación, el consultor debe solicitar o presentar la actualización del mismo.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Resolución 0330 de Junio 8 de 2017, por el cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS.

Sistema de Normas Técnicas de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (SISTEC), 2006.

Normas de Diseño y Construcción de Acueducto y Alcantarillado de Empresas Municipales de Cali, 1999.

Normas de Acueducto y Alcantarillado de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, 2006.

Normas de Acueducto y Alcantarillado de Aguas de Cartagena S.A. ESP, Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Cartagena, 2005.

Normas de Diseño de Acueducto y Alcantarillado de las Empresas Públicas de Medellín (EPM) ,2013.

Métodos Alternativos de control de aguas Lluvias. MINVU. (Ministerio de Vivienda de Chile.) 1.997

8. ANEXOS

(PARA MEJOR RESOLUCIÓN EN LOS ESQUEMAS VER EL ENLACE "ANEXOS" EN PAGINA DEL SINET):