

REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO RAS

TÍTULO D SISTEMAS DE RECOLECCIÓN Y EVACUACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS Y AGUAS LLUVIAS



Libertad y Orden

República de Colombia
Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio
Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico
BOGOTÁ D.C., 2015

PARA DIAGRAMACIÓN

MINISTRO: Luis Felipe Henao Cardona

VICEMINISTRA DE AGUA Y SANEAMIENTO BÁSICO: María Carolina Castillo Aguilar

DIRECTOR DE DESARROLLO SECTORIAL: Javier Moreno Méndez

EQUIPO TÉCNICO

MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO

Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico

Ignacio Ballestas Mejía
Miguel Ángel Castro Munar
María Elena Cruz Latorre
Zulma Lorena Ávila
Jimmy Arnulfo Leguizamón Pérez
Cristobal Oliveros Urieta
Mauricio A. Rivera S.
David G. Tamayo G.
José Manuel Vásquez Leal
Diana A. Vega Parra

Apoyo técnico:

Consultoría realizada por el Centro de Investigaciones en Acueductos y Alcantarillados –CIACUA de la Universidad de los Andes

Junta Técnica Asesora del RAS (Resolución 1447 de 2005),
Oficina Jurídica y Viceministerio de Ambiente del entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial

DIAGRAMACIÓN

Corrección

María Emilia Botero Arias
Centro de Documentación
Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial

Segunda edición.

RAS. Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales Domésticas y Aguas Lluvias

Catalogación en Publicación. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. Centro de Documentación y Referencia

Colombia. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.

Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: TÍTULO D. Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y aguas lluvias. -- 2da. Ed. / Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico (Ed.); Universidad de los Andes. Centro de Investigaciones en Acueductos y Alcantarillados –CIACUA (consultor). Bogotá, D.C. Colombia, Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. 2012. 240 p.

ISBN: _____

1. Saneamiento básico 2. Servicios públicos 3. Alcantarillado de aguas residuales
4. Alcantarillado de aguas lluvias 5. Alcantarillados combinados 6. Aguas residuales
I. Tit. II. Reglamento técnico de agua potable y saneamiento básico III. Universidad de los Andes. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Centro de Investigaciones en Acueductos y Alcantarillados – CIACUA

CDD: 628

© Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio

Todos los derechos reservados. Se autoriza la reproducción y difusión de material contenido en este documento para fines educativos u otros fines no comerciales sin previa autorización de los titulares de los derechos de autor, siempre que se cite claramente la fuente. Se prohíbe la reproducción de este documento para fines comerciales.
Distribución gratuita

Presentación

El Reglamento técnico de Agua y Saneamiento (RAS) está compuesto por una parte obligatoria, principalmente la Resolución 1096 de 2.000, y otra parte, de manuales de prácticas de buena ingeniería, conocidos como los títulos del RAS, en donde se realizan recomendaciones mínimas para formulación, diseño, construcción, puesta en marcha, operación y mantenimiento de los sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo, de forma que se logre con esta infraestructura prestar un servicio con una calidad determinada.

El presente título D, establece las condiciones requeridas para la concepción y el desarrollo de sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales y lluvias, considerados como convencionales. Así mismo orienta la planificación, el diseño, la construcción, la supervisión técnica, la operación, el mantenimiento y el seguimiento de la operación de estos sistemas y sus componentes.

Incluye lineamientos para los elementos que conforman los alcantarillados de aguas residuales, lluvias y combinados como sistemas de recolección, manejo y evacuación de aguas residuales y/o lluvias, sus diferentes componentes y estaciones de bombeo. No se incluyen los sistemas de tratamiento de aguas residuales, cuyos diseños, construcción, puesta en marcha, operación y mantenimiento son tratados en el Título E del RAS.

Luis Felipe Henao Cardona
Ministro de Vivienda, Ciudad y Territorio

ÍNDICE

SANEAMIENTO BÁSICO	I
RAS	I
TÍTULO D	I
REPÚBLICA DE COLOMBIA	I
D.0. REFERENCIACIÓN GENERAL	1
D.0.1 SISTEMA DE UNIDADES	1
ACELERACIÓN	1
ÁNGULO PLANO	1
ÁREA	1
CAUDAL	1
CONCENTRACIÓN	1
DENSIDAD	1
ESFUERZO	1
FUERZA	1
LONGITUD	1
MASA	1
POBLACIÓN	1
POTENCIA	2
POTENCIAL ELÉCTRICO	2

PRESIÓN	2
TEMPERATURA	2
TIEMPO	2
VELOCIDAD	2
VISCOSIDAD	2
VOLUMEN	2
OTRAS	2
L/HAB.DÍA LITRO POR HABITANTE POR DÍA	2
D.0.2 VARIABLES	2
D.0.3 ABREVIATURAS	11
D.0.4 NORMAS TÉCNICAS REFERENCIADAS	12
D.0.4.1 Normas técnicas colombianas	12
D.0.4.2 Normas técnicas internacionales	16
D.0.4.3 Normas técnicas y manuales de personas prestadoras del servicio público de alcantarillado	21
D.0.4.4 Otras normas o guías técnicas	21
CARTA POLÍTICA DE 1991	22
LEY 9 DE 1979	23
LEY 99 DE 1993	23
LEY 142 DE 1994	23
D.0.5 DEFINICIONES	27
ESTRUCTURA DE SEPARACIÓN DE CAUDALES (VER ALIVIADERO)	31
CAPÍTULO D.1	38
D.1. ASPECTOS GENERALES DE LOS SISTEMAS DE RECOLECCIÓN, TRANSPORTE Y MANEJO DE AGUAS RESIDUALES Y/O LLUVIAS	38
D.1.1 ALCANCE	38
D.1.2 INTEGRALIDAD DEL DRENAJE URBANO	38

D.1.3	SISTEMAS DE RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE DE AGUAS RESIDUALES Y/O LLUVIAS	39
D.1.3.1	Tipos de sistemas de alcantarillado	39
D.1.3.2	Selección del tipo de sistema de recolección y transporte de aguas residuales y/o lluvias	41
D.1.4	ETAPAS NECESARIAS PARA LA FORMULACIÓN Y ELABORACIÓN DE PROYECTOS DE SISTEMAS DE RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE DE AGUAS RESIDUALES Y/O LLUVIAS	42
D.1.4.1	Etapa de conceptualización y planificación	42
D.1.4.2	Etapa de diseño	46
D.1.4.3	Etapa de construcción	47
D.1.4.4	Etapa de operación y mantenimiento	47
CAPÍTULO D.2		48
D.2.	ASPECTOS COMUNES EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO DE AGUAS RESIDUALES Y AGUAS LLUVIAS	48
D.2.1	ALCANCE	48
D.2.2	ESTUDIOS PREVIOS	48
D.2.2.1	Estudio de la cantidad de usuarios del servicio	48
D.2.2.2	Características físicas de la zona del proyecto	49
D.2.2.3	Uso del suelo y límites territoriales de la zona de proyecto	50
D.2.2.4	Análisis de sitios de vertimiento	51
D.2.2.5	Descripción de los sistemas e infraestructura existentes	51
D.2.2.6	Información base para la evaluación socioeconómica	53
D.2.3	GENERACIÓN Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS	53
D.2.3.1	Definición del período de diseño	53
D.2.3.2	Ubicación del proyecto y determinación de áreas de influencia	54
D.2.3.3	Generación y comparación de alternativas	54
D.2.3.4	Desarrollo de la alternativa definitiva	54
D.2.4	PROTOCOLO DE PRUEBAS DE DISEÑO Y RECOMENDACIONES ESPECIALES	55
D.2.5	REFERENCIACIÓN Y DISPOSICIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA	56
D.2.5.1	Referenciación de componentes	56
D.2.5.2	Disposición general de las tuberías de alcantarillado	57
D.2.5.3	Nomenclatura	58
D.2.6	CONSIDERACIONES GENERALES PARA LA PLANIFICACIÓN	58
D.2.6.1	Requisitos que se deben cumplir	58
D.2.6.2	Actividades que se deben llevar a cabo	58
D.2.7	ASPECTOS COMPLEMENTARIOS	59
D.2.7.1	Aspectos estructurales y geotécnicos	59
D.2.7.2	Amenaza sísmica	59
D.2.7.3	Aspectos constructivos	59
D.2.7.4	Vulnerabilidad de la red	59
D.2.7.5	Distancias mínimas a otras redes	60
D.2.7.6	Distancia mínima horizontal a paramentos	60
D.2.7.7	Distancia mínima a cuerpos de agua superficiales	60
D.2.7.8	Colocación y nivelación de las redes	60
D.2.7.9	Instalación de tuberías	61
D.2.7.10	Conexión de tramos	61

D.2.7.11	Materiales para ductos en sistemas de alcantarillado	61
----------	--	----

TABLA D.2.2 ESPECIFICACIONES Y NORMAS TÉCNICAS PARA TUBERÍAS DE ALCANTARILLADO	62
---	-----------

TABLA D.2.3 NORMAS DE ACERO DE REFUERZO	63
--	-----------

TABLA D.2.4 ESPECIFICACIONES Y NORMAS TÉCNICAS DE MATERIALES Y MEZCLAS PARA CONCRETO	63
---	-----------

D.2.7.12	Tecnologías sin zanja	64
----------	-----------------------	----

D.2.8 PLANOS Y MEMORIAS DE CÁLCULO	64
---	-----------

D.2.8.1	Informes y memorias del proyecto	64
---------	----------------------------------	----

D.2.8.2	Planos de diseño y construcción	64
---------	---------------------------------	----

D.2.9 TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN PARA LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADO	65
---	-----------

D.2.9.1	Sistemas de información geográfica	65
---------	------------------------------------	----

D.2.9.2	Programas de diseño de redes de alcantarillado	65
---------	--	----

D.2.9.3	Diseño optimizado de sistemas de alcantarillado	66
---------	---	----

D.2.9.4	Calidad de agua en sistemas de alcantarillado	66
---------	---	----

D.2.9.5	Sistemas de monitoreo y tipo SCADA	66
---------	------------------------------------	----

CAPÍTULO D.3	68
---------------------	-----------

D.3. REDES DE ALCANTARILLADO DE AGUAS RESIDUALES	68
---	-----------

D.3.1 ALCANCE	68
----------------------	-----------

D.3.2 CONCEPCIÓN DEL PROYECTO	68
--------------------------------------	-----------

D.3.3 PARÁMETROS DE DISEÑO	68
-----------------------------------	-----------

D.3.3.1	Período de diseño	68
---------	-------------------	----

D.3.3.2	Proyección de los usuarios	68
---------	----------------------------	----

D.3.3.3	Contribuciones de aguas residuales	69
---------	------------------------------------	----

TABLA D.3.1 COEFICIENTE DE RETORNO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS	70
--	-----------

TABLA D.3.2 CONTRIBUCIÓN DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES PARA INDUSTRIAS PEQUEÑAS	71
---	-----------

TABLA D.3.3 APORTES POR INFILTRACIÓN EN REDES DE SISTEMAS DE RECOLECCIÓN Y EVACUACIÓN DE AGUAS RESIDUALES	73
--	-----------

D.3.3.4	Caudal medio diario de aguas residuales	73
---------	---	----

D.3.3.5	Caudal máximo horario final	74
---------	-----------------------------	----

TABLA D.3.4 MÁXIMO FACTOR DE MAYORACIÓN DE ACUERDO CON LA POBLACIÓN SERVIDA 75

D.3.3.6 Caudal de diseño	75
D.3.3.7 Diámetro interno mínimo	76
D.3.3.8 Relación máxima entre la profundidad y el diámetro de la tubería	76
D.3.3.9 Velocidades en las tuberías	76
D.3.3.10 Pendientes de las tuberías	78
D.3.3.11 Profundidades de instalación de las tuberías	78

TABLA D.3.5 PROFUNDIDAD MÍNIMA DE INSTALACIÓN DE TUBERÍAS EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO 78

D.3.3.12 Anclajes en tuberías de alcantarillado	79
D.3.3.13 Control de olores, sulfuros y corrosión en las tuberías	79
D.3.3.14 Formación de sulfuros en tuberías presurizadas o con alta profundidad de flujo	80

D.3.4 ASPECTOS DE LA PUESTA EN MARCHA 80

D.3.4.1 Inspecciones preliminares a la red de alcantarillado	81
D.3.4.2 Ensayo de infiltración	81
D.3.4.3 Ensayo de exfiltración	81
D.3.4.4 Ensayo de hermeticidad con aire	81

TABLA D.3.5 NORMAS TÉCNICAS DE ENSAYOS DE HERMETICIDAD CON AIRE 82

D.3.5 ASPECTOS DE LA OPERACIÓN 82

D.3.5.1 Mediciones e instrumentación	82
--------------------------------------	----

TABLA D.3.6 REQUERIMIENTOS MÍNIMOS DE MEDICIONES DE CANTIDAD Y CALIDAD DE AGUAS RESIDUALES Y LLUVIAS 82

D.3.5.2 Control de gases	82
D.3.5.3 Control de vertimientos industriales y comerciales	83
D.3.5.4 Mediciones de calidad del agua	83
D.3.5.5 Uso de tecnologías de información para la operación	83
D.3.5.6 Calibración de la red de alcantarillado para la operación	84

D.3.6 ASPECTOS DEL MANTENIMIENTO 84

D.3.6.1 Manual de mantenimiento	84
D.3.6.2 Programas de mantenimiento	84
D.3.6.3 Mantenimiento preventivo y correctivo	85
D.3.6.4 Monitoreo	85
D.3.6.5 Limpieza de redes	85

TABLA D.3.7 MANTENIMIENTO MÍNIMO SEGÚN LOS NIVELES DE COMPLEJIDAD DEL SISTEMA 85

D.3.6.6 Disponibilidad de repuestos y suspensión del servicio	86
---	----

D.3.7 REHABILITACIÓN DE REDES 86

CAPÍTULO D.4 88

D.4. REDES DE ALCANTARILLADO DE AGUAS LLUVIAS 88

D.4.1 ALCANCE 88

D.4.2 CONCEPCIÓN DEL PROYECTO 88

D.4.3 PARÁMETROS DE DISEÑO 89

D.4.3.1 Período de diseño 89

D.4.3.2 Período de retorno de la lluvia de diseño 89

TABLA D.4.1 PERÍODOS DE RETORNO RECOMENDADOS SEGÚN EL GRADO DE PROTECCIÓN DEL SISTEMA 89

TABLA D.4.2 GRADO DE PROTECCIÓN SEGÚN EL NIVEL DE COMPLEJIDAD DEL SISTEMA 90

D.4.3.3 Determinación de áreas de drenaje 90

D.4.3.4 Diámetro interno mínimo 90

D.4.3.5 Relación máxima entre la profundidad y el diámetro de la tubería 90

D.4.3.6 Velocidades en las tuberías 91

D.4.3.7 Pendientes de las tuberías 92

D.4.3.8 Profundidades de instalación de las tuberías 92

D.4.3.9 Aporte de sedimentos 93

TABLA D.4.5 FUENTES DE SEDIMENTOS EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO DE AGUAS LLUVIAS 93

D.4.3.10 Anclajes en tuberías de alcantarillado 93

D.4.4 CAUDAL DE AGUAS LLUVIAS 94

D.4.4.1 Caudal de diseño 94

D.4.4.2 Caudal de diseño utilizando modelos lluvia-escorrentía 94

TABLA D.4.3 VALORES DE TASAS DE INFILTRACIÓN FINALES, INICIALES Y TASAS DE DECAIMIENTO 96

TABLA D.4.4 GRUPOS HIDROLÓGICOS DEL SUELO PARA EL MÉTODO DE INFILTRACIÓN DEL SOIL CONSERVATION SERVICE 97

TABLA D.4.5 VALORES DE NÚMEROS DE CURVA PARA SUELOS CON CONDICIONES PROMEDIO DE HUMEDAD PARA ZONAS URBANAS 97

TABLA D.4.6. PARÁMETROS DEL SUELO REQUERIDOS PARA LA APLICACIÓN DEL MODELO GREEN Y AMPT 100

D.4.4.3 Caudal de diseño utilizando el método racional 101

TABLA D.4.7 COEFICIENTES DE IMPERMEABILIDAD 103

TABLA D.4.8 FACTOR DE REDUCCIÓN DE LA INTENSIDAD MEDIA DE PRECIPITACIÓN PARA DIFERENTES ÁREAS DE DRENAJE	103
TABLA D.4.9 MÍNIMO REQUERIMIENTO PARA LA FUENTE DE OBTENCIÓN DE CURVAS DE INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA (IDF)	104
TABLA D.4.10 CONSTANTE α DE VELOCIDAD SUPERFICIAL	106
TABLA D.4.11 COEFICIENTE DE RETARDO M	107
D.4.4.4 Otros aportes de caudal	108
D.4.5 CANALES EN SISTEMAS DE DRENAJE	109
D.4.5.1 Consideraciones para su proyección	109
D.4.5.2 Estudios previos	109
D.4.5.3 Parámetros de diseño	109
TABLA D.4.12 VELOCIDADES MÁXIMAS EN CANALES REVESTIDOS (M/S)	110
TABLA D.4.13 VELOCIDADES MÁXIMAS EN CANALES NO REVESTIDOS SEGÚN EL MATERIAL EN SUSPENSIÓN (M/S)	110
D.4.5.4 Métodos de cálculo	111
TABLA D.4.14 COEFICIENTES DE RUGOSIDAD DE MANNING	112
D.4.5.5 Transiciones en canales abiertos	112
D.4.6 ASPECTOS DE LA PUESTA EN MARCHA	113
D.4.7 ASPECTOS DE LA OPERACIÓN	113
D.4.7.1 Mediciones e instrumentación	113
D.4.7.2 Mediciones de calidad de agua	114
D.4.7.3 Uso de tecnologías de información para la operación	114
D.4.8 ASPECTOS DEL MANTENIMIENTO	114
D.4.8.1 Manual de mantenimiento	114
D.4.8.2 Programas de mantenimiento	114
D.4.8.3 Mantenimiento preventivo	115
D.4.8.4 Mantenimiento correctivo	115
D.4.8.5 Monitoreo	115
D.4.8.6 Limpieza de las redes	115
D.4.8.7 Disponibilidad de repuestos	115
D.4.9 REHABILITACIÓN DE REDES	115
CAPÍTULO D.5	116
D.5. REDES DE ALCANTARILLADOS COMBINADOS	116
D.5.1 ALCANCE	116

D.5.2	CONCEPCIÓN DEL PROYECTO	116
D.5.3	CAUDAL DE DISEÑO	116
D.5.4	PARÁMETROS DE DISEÑO	117
D.5.5	COSTOS ECONÓMICOS DE SISTEMAS COMBINADOS	117
D.5.6	ASPECTOS DE LA PUESTA EN MARCHA	117
D.5.7	ASPECTOS DE LA OPERACIÓN	118
D.5.8	ASPECTOS DEL MANTENIMIENTO	118
D.5.9	REHABILITACIÓN DE REDES	118
CAPÍTULO D.6		119
D.6. HIDRÁULICA DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADO		119
D.6.1	ALCANCE	119
D.6.2	DISEÑO HIDRÁULICO DE CONDUCTOS PARCIALMENTE LLENOS	119
D.6.2.1	Tipos de flujo para el diseño	119
D.6.2.2	Caudal de diseño	120
D.6.2.3	Diámetros	120
D.6.2.4	Pendientes de las tuberías	120
D.6.2.5	Coefficientes de rugosidad y rugosidad absoluta	120
TABLA D.6.1 COEFICIENTES DE RUGOSIDAD ABSOLUTA K_s		121
D.6.2.6	Propiedades geométricas de ductos en sistemas de alcantarillados	123
TABLA D.6.2 PROPIEDADES GEOMÉTRICAS DE DUCTOS CON SECCIONES DIFERENTES A LA SECCIÓN CIRCULAR		125
D.6.2.7	Ecuaciones de flujo uniforme para el diseño de conductos cerrados	126
D.6.2.8	Ecuación para el cálculo del esfuerzo cortante	128
D.6.2.9	Régimen de flujo	129
D.6.3	DISEÑO HIDRÁULICO DE REDES DE ALCANTARILLADO	130
D.6.3.1	Generación de alternativas de diseño	130
D.6.3.2	Topología de la red de alcantarillado	130
D.6.3.3	Caudales para el diseño hidráulico	130
D.6.3.4	Pérdidas menores en accesorios y estructuras de conexión	131
D.6.3.5	Cambios bruscos de la pendiente	131
D.6.3.6	Cálculo de la línea de gradiente hidráulico y la línea de energía total	131
D.6.3.7	Flujo no permanente en sistemas de alcantarillado	134
D.6.3.8	Modelo hidráulico de la red de alcantarillado	135
D.6.4	CALIDAD DE AGUA EN LA RED DE ALCANTARILLADO	136
D.6.5	PROTOCOLOS DE PRUEBA	136
D.6.6	MANUAL DE OPERACIÓN	137
D.6.7	USO DE TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN PARA LA HIDRÁULICA DE LAS REDES	137

CAPÍTULO D.7	138
D.7. ESTRUCTURAS COMPLEMENTARIAS	138
D.7.1 ALCANCE	138
D.7.2 CONSIDERACIONES GENERALES	138
D.7.3 ESTRUCTURAS DE CONEXIÓN Y/O INSPECCIÓN DE TUBERÍAS	138
D.7.3.1 Consideraciones para su proyección	139
D.7.3.2 Parámetros de diseño	140
TABLA D.7.1 DIÁMETRO INTERNO MÍNIMO DE ESTRUCTURAS DE CONEXIÓN	141
D.7.3.3 Análisis hidráulico de estructuras de conexión y/o inspección	141
TABLA D.7.2 COEFICIENTES DE PÉRDIDAS MENORES EN CÁMARAS DE CONEXIÓN Y/O INSPECCIÓN	144
TABLA D.7.3 VALORES DE c_b PARA DIFERENTES TIPOS DE CAÑUELA	145
D.7.3.4 Verificación del nivel de la superficie de agua en la estructura de conexión	149
TABLA D.7.4 VALORES DE K_u PARA DIFERENTES CONFIGURACIONES DE ENTRADA	149
TABLA D.7.5 VALORES DE K_w PARA DIFERENTES CONFIGURACIONES DE ENTRADA	149
D.7.3.5 Estructuras de conexión curva o alargada	150
TABLA D.7.6 VALORES DEL COEFICIENTE K_c	152
D.7.3.6 Limpieza de estructuras de conexión y/o inspección	152
D.7.4 CÁMARAS DE DESCARGA PARA TUBERÍAS DE IMPULSIÓN	152
D.7.5 CÁMARAS DE CAÍDA	153
D.7.5.1 Consideraciones para su proyección	153
D.7.5.2 Parámetros de diseño y métodos de cálculo	154
D.7.6 SUMIDEROS	156
D.7.6.1 Consideraciones para su proyección	156
D.7.6.2 Capacidad de captación de los sumideros	157
D.7.6.3 Tipos de sumideros	158
D.7.6.4 Parámetros de diseño	160
D.7.6.5 Métodos de cálculo	160
TABLA D.7.8 VALORES DE k PARA DIFERENTES PENDIENTES TRANSVERSALES DE VÍA	162
D.7.6.6 Procedimiento de cálculo de sumideros en pendiente continua	166

D.7.6.7 Limpieza y facilidad de mantenimiento de sumideros	166
D.7.7 ALIVIADEROS DE ALCANTARILLADOS COMBINADOS	166
D.7.7.1 Consideraciones para su proyección	167
D.7.7.2 Estudios previos	168
D.7.7.3 Parámetros de Diseño	168
D.7.7.4 Cálculo del caudal de vertimiento	170
D.7.7.5 Diseño de aliviaderos de Vertedero Lateral	171
D.7.7.6 Diseño de Aliviadero de Vertedero Transversal	173
D.7.7.7 Aliviadero de Vertedero Tipo Orificio	175
D.7.7.8 Aliviaderos modernos	175
D.7.7.9 Almacenamiento del primer lavado	178
D.7.7.10 Estructuras de disipación de energía en aliviaderos	180
D.7.7.11 Mecanismos de limpieza y mantenimiento de aliviaderos	180
D.7.7.12 Comprobación de diseño y puesta en marcha de aliviaderos	180
D.7.8 SIFONES INVERTIDOS	180
D.7.8.1 Consideraciones para su proyección	180
D.7.8.2 Parámetros de diseño	181
D.7.8.3 Métodos de cálculo	181
D.7.8.4 Mecanismos de limpieza	182
D.7.9 ESTRUCTURAS DE DESCARGA Y DISIPACIÓN DE ENERGÍA	183
D.7.9.1 Estructuras de entrega con canales rugosos	183
D.7.9.2 Estructuras de caída libre y resalto hidráulico	184
D.7.9.3 Estructuras de caída inclinada o rápida	187
D.7.9.4 Canales escalonados	187
D.7.10 COMPROBACIÓN DE DISEÑO Y PUESTA EN MARCHA DE ESTRUCTURAS COMPLEMENTARIAS EN LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADO	189
D.7.11 ASPECTOS GENERALES GEOTÉCNICOS, ESTRUCTURALES Y CONSTRUCTIVOS DE LAS ESTRUCTURAS COMPLEMENTARIAS DE LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADO	189
CAPÍTULO D.8	190
D.8. ESTACIONES ELEVADORAS Y/O DE BOMBEO	190
<hr/>	
D.8.1 ALCANCE	190
D.8.2 ESTUDIOS PREVIOS	190
D.8.2.1 Concepción del proyecto	190
D.8.2.2 Aspectos generales de la zona	191
D.8.2.3 Cantidad de agua a ser bombeada	191
D.8.2.4 Calidad del agua a ser bombeada	191
D.8.2.5 Estudios topográficos	191
D.8.2.6 Estudio de suelos	191
D.8.2.7 Condiciones geológicas	192
D.8.2.8 Infraestructura existente	192
D.8.2.9 Disponibilidad de energía eléctrica	192
D.8.3 CONDICIONES GENERALES	192
D.8.3.1 Localización y seguridad	192
D.8.3.2 Facilidad de acceso para el mantenimiento	193
D.8.3.3 Vulnerabilidad y riesgo	193
D.8.3.4 Análisis de costo mínimo	193

D.8.3.5 Factibilidad de ampliación	194
D.8.4 PARÁMETROS DE DISEÑO	194
D.8.4.1 Período de diseño	194
D.8.4.2 Caudal de diseño	194
D.8.4.3 Conducto de entrada a la estación	194
D.8.4.4 Materiales	194
D.8.4.5 Número de bombas	195
D.8.4.6 Tipo de bombas	195
D.8.4.7 Pozo de succión	196
D.8.4.8 Tuberías de succión e impulsión	197

TABLA D.8.1 VELOCIDAD MÁXIMA ACEPTABLE EN LA TUBERÍA DE SUCCIÓN, SEGÚN EL DIÁMETRO **198**

D.8.4.9 Instalación de tuberías en estaciones elevadoras y de bombeo	198
D.8.4.10 Distancias a otras redes	198
D.8.4.11 Sala de bombas	199
D.8.4.12 Generación y control de ruido	199
D.8.4.13 Control de tamaño de sólidos y rejillas de limpieza	199

D.8.5 DISEÑO DE LAS ESTACIONES ELEVADORAS Y/O DE BOMBEO **199**

D.8.5.1 Generación de alternativas	199
D.8.5.2 Tuberías de succión e impulsión	200

TABLA D.8.2 NORMAS PARA RECUBRIMIENTOS EXTERNOS EN TUBERÍAS **200**

TABLA D.8.3 NORMAS PARA RECUBRIMIENTOS INTERNOS EN TUBERÍAS **201**

D.8.5.3 Bombas centrífugas y bombas eyectoras	202
D.8.5.4 Bombas helicoidales	203
D.8.5.5 Válvulas y accesorios en las estaciones elevadoras y/o de bombeo	205
D.8.5.6 Eficiencia del bombeo	206
D.8.5.7 Golpe de ariete en estaciones elevadoras y/o de bombeo	206
D.8.5.8 Instalaciones eléctricas en las estaciones elevadoras y/o de bombeo	206
D.8.5.9 Dispositivos de medición y control	209
D.8.5.10 Instalaciones complementarias para las estaciones elevadoras y/o de bombeo	210
D.8.5.11 Comprobación de diseño bajo diferentes condiciones de operación	211
D.8.5.12 Protocolo de pruebas de diseño	211
D.8.5.13 Uso de tecnologías de información para el diseño de estaciones elevadoras y/o de bombeo	211
D.8.5.14 Manual de operación	212

D.8.6 ASPECTOS DE LA PUESTA EN MARCHA **212**

D.8.6.1 Inspecciones preliminares	212
D.8.6.2 Pruebas preliminares	213
D.8.6.3 Pruebas hidrostáticas para tuberías de impulsión	213
D.8.6.4 Medición de caudales en tuberías de impulsión	213
D.8.6.5 Línea piezométrica de la tubería de impulsión	214
D.8.6.6 Golpe de ariete	214
D.8.6.7 Accesorios y válvulas	214

D.8.7 ASPECTOS DE LA OPERACIÓN **214**

D.8.7.1 Mediciones de caudal	215
D.8.7.2 Línea de gradiente hidráulico de la tubería de impulsión	215

D.8.7.3 Punto de operación de la bomba	216
D.8.7.4 Golpe de ariete	216
D.8.7.5 Uso de tecnologías de información para la operación	216
D.8.8 ASPECTOS DEL MANTENIMIENTO	216
D.8.8.1 Manual de mantenimiento	216
D.8.8.2 Aspectos generales	216
D.8.8.3 Mantenimiento preventivo	217
D.8.8.4 Mantenimiento correctivo	217
D.8.8.5 Disponibilidad de repuestos	218
D.8.8.6 Uso de tecnologías de información para labores de mantenimiento	218
D.8.8.7 Posibles suspensiones del servicio	218
CAPÍTULO D.9	219
D.9. BIBLIOGRAFÍA	219

Índice de Tablas

Tabla D.0.1. Normas relacionadas con el agua como recurso natural renovable	23
Tabla D.0.2. Normas relacionadas con el ordenamiento territorial	25
Tabla D.0.3. Normas relacionadas con el servicio público domiciliario de alcantarillado	25
Tabla D.0.4. Normas sobre gestión de riesgo	26
Tabla D. 1.1. Asignación del nivel de complejidad del sistema	43
Tabla D. 2.1. Distancias horizontales mínimas entre redes	60
Tabla D.2.2 Especificaciones y normas técnicas para tuberías de alcantarillado	62
Tabla D.2.3 Normas de acero de refuerzo	63
Tabla D.2.4 Especificaciones y normas técnicas de materiales y mezclas para concreto	63
Tabla D.3.1 Coeficiente de retorno de aguas residuales domésticas	70
Tabla D.3.2 Contribución de aguas residuales industriales para industrias pequeñas	71
Tabla D.3.3 Aportes por infiltración en redes de sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales	73
Tabla D.3.4 Máximo factor de mayoración de acuerdo con la población servida	75
Tabla D.3.5 Normas técnicas de ensayos de hermeticidad con aire	82
Tabla D.3.6 Requerimientos mínimos de mediciones de cantidad y calidad de aguas residuales y lluvias	82
Tabla D.3.7 Mantenimiento mínimo según los niveles de complejidad del sistema	85
Tabla D.4.1 Períodos de retorno recomendados según el grado de protección del sistema	89
Tabla D.4.2 Grado de protección según el nivel de complejidad del sistema	90
Tabla D.4.3 Valores de tasas de infiltración finales, iniciales y tasas de decaimiento	96
Tabla D.4.4 Grupos hidrológicos del suelo para el método de infiltración del Soil Conservation Service	97

Tabla D.4.5 Valores de números de curva para suelos con condiciones promedio de humedad para zonas urbanas	97
Tabla D.4.6. Parámetros del suelo requeridos para la aplicación del modelo Green y Ampt	100
Tabla D.4.7 Coeficientes de impermeabilidad	103
Tabla D.4.8 Factor de reducción de la intensidad media de precipitación para diferentes áreas de drenaje	103
Tabla D.4.9 Mínimo requerimiento para la fuente de obtención de curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF)	104
Tabla D.4.10 Constante α de velocidad superficial	106
Tabla D.4.11 Coeficiente de retardo m	107
Tabla D.4.12 Velocidades máximas en canales revestidos (m/s)	110
Tabla D.4.13 Velocidades máximas en canales no revestidos según el material en suspensión (m/s)...	110
Tabla D.4.14 Coeficientes de rugosidad de Manning	112
Tabla D.6.1 Coeficientes de rugosidad absoluta k_s	121
Tabla D.6.2 Propiedades geométricas de ductos con secciones diferentes a la sección circular .	125
Tabla D.7.1 Diámetro interno mínimo de estructuras de conexión	141
Tabla D.7.2 Coeficientes de pérdidas menores en cámaras de conexión y/o inspección	144
Tabla D.7.3 Valores de C_b para diferentes tipos de cañuela	145
Tabla D.7.4 Valores de K_u para diferentes configuraciones de entrada	149
Tabla D.7.5 Valores de K_w para diferentes configuraciones de entrada	149
Tabla D.7.6 Valores del coeficiente k_c	152
Tabla D.7.7 Valores admisibles de ancho de la superficie libre (T) en la sección transversal de diferentes tipos de vías	157
Tabla D.7.8 Valores de k para diferentes pendientes transversales de vía	162
Tabla D.8.1 Velocidad máxima aceptable en la tubería de succión, según el diámetro	198
Tabla D.8.2 Normas para recubrimientos externos en tuberías	200
Tabla D.8.3 Normas para recubrimientos internos en tuberías	201

Índice de Figuras

Figura D.4.1 Modelo conceptual del método SWMM	95
Figura D.4.2 Esquema cálculo aguas subterráneas	108
Figura D.6.1 Características geométricas de la sección circular	123
Figura D.6.2 Elementos geométricos de una sección circular	125
Figura D.6.3 Variación de los coeficientes de rugosidad a diferentes profundidades de flujo	128
Figura D.7.1 Remate de la entrada a las tuberías de salida	142
Figura D.7.2 Análisis de línea de energía en una cámara subcrítica	143

Figura D.7.3 Tipo de recubrimiento ejercido por una cañuela en una cámara de unión o inspección	145
Figura D.7.4 Esquema de pequeña caída de fondo en cámaras supercríticas de flujo directo	148
Figura D.7.5 Profundidad del agua en la estructura de conexión con respecto a la tubería de salida	150
Figura D.7.6 Esquema de estructura de conexión curvas	151
Figura D.7.7 Esquema de cámara de descarga para tuberías de impulsión	153
Figura D.7.8 Esquema de cámara de caída con pantalla deflectora	153
Figura D.7.9 Cámara de caída con tubería externa	154
Figura D.7.10 Cámara de caída con tubería interna	155
Figura D.7.11 Esquemas de estructuras de caída para alturas mayores a 7 m: (a) cámara de caída de vórtice, (b) cámara de caída de pasos escalonados y (c) cámara de caída con estructura de bandejas	156
Figura D.7.12 Esquema de la sección mojada de flujo en una cuneta	157
Figura D.7.13 Tipos de sumideros de acuerdo a la forma de captación: (a) sumidero de rejilla en cuneta, (b) sumidero de ventana, (c) sumidero combinado y (d) sumidero transversal	159
Figura D.7.14 Sumidero con válvula de cheque o “charnela”	160
Figura D.7.15 Sumidero con sello hidráulico	160
Figura D.7.16 Sumidero con desarenador	160
Figura D.7.17 Sumidero de ventana	162
Figura D.7.18 Sumidero de ventana con depresión	163
Figura D.7.19 Sumidero de rejilla	164
Figura D.7.20 Condiciones de flujo en un vertedero lateral	172
Figura D.7.21 Aliviadero de vertedero lateral	173
Figura D.7.22 Aliviadero de vertedero transversal	175
Figura D.7.23 Aliviadero de tipo orificio	175
Figura D.7.24 Aliviadero moderno de vertedero lateral	176
Figura D.7.25 Aliviadero de vertedero transversal moderno	177
Figura D.7.26 Aliviadero tipo vórtice	178
Figura D.7.27 Configuraciones de (a) Almacenamiento en línea (b) Almacenamiento fuera de línea	179
Figura D.7.28 Esquema sifón invertido	181
Figura D.7.29 Esquema estructura de entrega con bloques	184
Figura D.7.30 Esquema de estructura de caída	185
Figura D.7.31 Esquema de caída escalonada	188
Figura D.7.32 Relación entre porcentaje de disipación y altura caída	188
Figura D.8.1 Esquema bomba de tornillo de Arquímedes	203

D.0. REFERENCIACIÓN GENERAL

D.0.1 SISTEMA DE UNIDADES

Aceleración

m/s² Metros por segundo cuadrado

Ángulo plano

° ‘ “ grados, minutos y segundos

RAD Radianes

Área

cm² centímetro cuadrado

ha hectárea

km² kilómetro cuadrado

m² metro cuadrado

Caudal

L/h Litro por hora

L/s Litro por segundo

m³/s Metros cúbicos por segundo

Concentración

mg/L Miligramo por litro

ppm Partes por millón

Densidad

viviendas/ha o habitantes/vivienda densidad de población

kg/m³ kilogramo por metro cúbico

Esfuerzo

kg/m² kilogramo por metro cuadrado

kPa kilopascal

MPa megapascal

Pa Pascal

Fuerza

N Newton

kN kilonewton

Longitud

m metro

km kilómetro

mm milímetro

Masa

g gramo

mg miligramo

kg kilogramo

t tonelada

Población

Hab. habitante

Potencia

kW kilovatio

W vatio

Potencial eléctrico

kV kilovoltio

Presión

m.c.a metros de columna de agua

kPa kilopascal

MPa megapascal

Pa Pascal

Temperatura

°C Grados centígrados

°K Grados kelvin

Tiempo

año año

día día

h hora

min minuto

s segundo

Velocidad

m/s Metros por segundo

Viscosidad

Pa·s Pascales por segundo

Volumen

cm³ centímetro cúbico

L litro

m³ metro cúbico

Otras

L/hab.día Litro por habitante por día

m²/m Metro cuadrado por metro

msnm Metros sobre el nivel del mar

D.0.2 VARIABLES

- a** Constante que depende del tipo de superficie (-).
- a** Altura de depresión aguas arriba del sumidero (m).
- a, b y c** Coeficientes función de las características de cada estación pluviográfica (-).
- A** Área efectiva de la rejilla (m²).
- A** Área tributaria de drenaje (m² ó ha).
- A** Área transversal mojada del conducto, tubería, sifón (m²).
- A, B, C** Coeficientes de la ecuación de una bomba (-).

RAS. Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales Domésticas y Aguas Lluvias

A_2	Área mojada transversal del sifón (m ²).
A_3	Área mojada transversal de la tubería de salida (m ²).
b	Altura de depresión aguas abajo del sumidero (m).
b	Ancho de vertedero (m).
b	Ancho del sumidero transversal (ancho de la calle) (m).
b	Ancho superficial en la sección del conducto en la ecuación de Pomeroy (m).
b	Diámetro real interno de la cámara de conexión y/o inspección (m).
b	Distancia comprendida entre el bordillo y el final de la rejilla (m).
B	Ancho de canal, cañuela, etc. (m).
B	Ancho de excavación (m).
B	Ancho de la hipotética cuenca (m).
c	Coefficiente de descarga del sumidero (-).
C	Coefficiente de impermeabilidad (-).
C_b	Factor de corrección por uso de cañuela (-).
C_d	Factor de corrección por profundidad de flujo (-).
C_d	Coefficiente de descarga de vertederos (-)
C_D	Factor de corrección por diámetros (-).
C_i	Coefficiente de infiltración (-).
C_p	Factor de corrección por inmersión (-).
C_Q	Factor de corrección por flujo relativo (-).
C_R	Coefficiente de retorno (-).
CN	Número de curva para suelos con condiciones de humedad normales (-).
CNI	Número de curva para suelos con condiciones de humedad previa seca (-).
$CNIII$	Número de curva para suelos con humedad previa elevada (-).
CN_{imper}	Número de curva para el área impermeable (-).
CN_{perm}	Número de curva para el área permeable (-).
d	Diámetro del eje del tornillo de la bomba (m).
d	Diámetro real interno de la tubería (m).
d	Separación entre el bordillo del andén y el inicio de la rejilla del sumidero (m).
D	Diámetro del tornillo de la bomba (m).
D	Profundidad hidráulica (m).
d_e	Diámetro real interno de la tubería de entrada (m).
D_e	Diámetro real interno de la tubería utilizada (m).
D_{NETA}	Demanda neta de agua potable proyectada por habitante (L/hab.día).
D_{NETA}	Demanda neta de agua potable proyectada por suscriptor (m ³ /suscriptor.mes).

RAS. Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales Domésticas y Aguas Lluvias

D_{NETA_p}	Demanda neta de agua potable por unidad de área tributaria (L/s.ha).
d_s	Diámetro real interno de la tubería de salida (m).
DBO_5	Demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días del agua residual a 20 °C (mg/L).
dx	Cambio en la distancia horizontal del conducto (m).
dy	Cambio en la profundidad del agua (m).
dy/dx	Cambio de la profundidad de flujo con respecto al eje longitudinal de análisis (-).
e	Área libre / área total de la rejilla del sumidero transversal (-).
E	Eficiencia del resalto (%).
E	Energía específica sobre la rejilla (m).
E_1	Energía específica aguas arriba del resalto (m).
E_1	Energía específica en la tubería de entrada (m).
E_2	Energía específica aguas abajo del resalto (m).
E_2	Energía específica en la tubería de salida (m).
f	Factor de fricción de Darcy (-).
f	Factor de fricción en el lecho de la tubería (-).
f	Tasa de infiltración de una cuenca o área de drenaje (m/s).
F	Profundidad de infiltración acumulada (m).
F	Factor de mayoración (-).
F_c	Factor de capacidad de la cámara de conexión y/o inspección (-).
F_j	Profundidad de infiltración acumulada al inicio del período de tiempo (m).
F_{j+1}	Profundidad de infiltración acumulada al final del período de tiempo analizado (m).
f_o	Tasa de infiltración inicial del suelo (m/s).
F_p	Profundidad de infiltración acumulada para la cual se inicia el proceso de escorrentía superficial (m).
f_{∞}	Tasa de infiltración final del suelo (m/s).
Fr	Número de Froude (-).
F_t	Profundidad acumulada de agua infiltrada en cada intervalo de tiempo (m).
g	Aceleración de la gravedad (m/s ²).
h	Altura de energía en la cámara o estructura (m).
h	Altura del escalón (m).
h	Diferencia de altura de agua en una excavación (m).
h	Distancia vertical medida entre la línea de flujo de la tubería que descarga por encima y el centro de la sección de la tubería de salida (m).
H	Altura de agua por encima de la cresta del vertedero (m).
H	Altura dinámica total. Corresponde a la diferencia de altura entre la entrada y la salida de la bomba (m).
H	Altura total de bombeo incluyendo la altura topográfica, las pérdidas por fricción y las

RAS. Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales Domésticas y Aguas Lluvias

	pérdidas menores existentes en las tuberías de impulsión (m).
H	Distancia vertical entre el punto de descarga y el punto de llenado de una bomba tipo tornillo (m).
H	Pérdida total de energía (m).
H_1	Máxima altura disponible aguas arriba de la estructura (m).
h_c	Pérdida menor por el codo del sifón (m).
h_c	Pérdida de energía en la contracción (m).
h_e	Pérdida menor a la entrada del sifón (m).
h_e	Pérdida de energía en la expansión (m).
H_{es}	Altura estática de succión (m).
h_f	Pérdidas por fricción en una tubería o conducto (m).
h_f	Pérdida por fricción en la tubería del sifón (m).
h_f	Pérdidas por fricción en las tuberías de succión e impulsión (m).
h_m	Pérdida de energía en la estructura de conexión curva (m).
h_m	Pérdida de energía en la estructura de conexión y/o inspección (m).
h_m	Pérdidas menores causadas por todos los accesorios en las tuberías de succión e impulsión (m).
h_s	Pérdida menor a la salida del sifón (m).
H_T	Diferencia topográfica máxima entre el nivel del agua mínimo en el punto de succión aguas arriba y el nivel de agua máximo en el punto de descarga aguas abajo (m).
H_v	Altura del vertedero (m).
H_w	Profundidad esperada de agua en la cámara de conexión y/o inspección (m).
i	Intensidad de precipitación (L/s.ha o mm/h).
i_{efec}	Exceso de precipitación (m/s).
k	Coefficiente de captación (-).
k	Coefficiente que depende de la geometría de la rejilla y de la separación entre barras (-).
K	Permeabilidad del suelo (m/s).
k_0	Coefficiente de pérdidas inicial (-).
k_b	Mínima rugosidad del lecho (mm).
k_c	Coefficiente de pérdida por curvatura (-).
k_m	Coefficiente de pérdidas menores (-).
k_s	Rugosidad absoluta de la tubería (m).
k_t	Coefficiente de pérdidas ajustado (m).
Ku	Coefficiente de pérdidas en la estructura (-).
Kw	Coefficiente de pérdidas en la estructura de conexión y/o inspección (-).
l	Longitud del escalón (m).
L	Diferencia de abscisas en la sección de análisis (m).

RAS. Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales Domésticas y Aguas Lluvias

L	Longitud de flujo en la cuenca (m).
L	Longitud de la corriente principal desde la salida de la cuenca hasta la divisoria de aguas arriba (km).
L	Longitud de la espiral del tornillo de Arquímedes (m).
L	Longitud de la rejilla transversal (m).
L	Longitud de la tubería o tramo de red (m ó km).
L	Longitud de la ventana del sumidero (m).
L	Longitud del sumidero (m).
L	Longitud máxima de flujo de escorrentía superficial (m).
L	Profundidad del estrato saturado de suelo (m).
L'	Longitud de sumidero necesaria para captar todo el caudal (m).
L_0	Longitud mínima de rejillas (m).
L_1	Longitud de transición aguas arriba del sumidero (m).
L_2	Longitud de transición aguas abajo del sumidero (m).
L_{apoyos}	Distancia entre apoyos del tornillo (m).
L_c	Distancia hasta el punto de la corriente más cercana desde el centroide del área de la cuenca (km).
L_c	Longitud de la estructura especial (m).
L_d	Longitud de caída (m).
m	Coefficiente de retardo (-).
m	Promedio de los valores en las secciones 1 y 2 del canal o ducto (-).
M	Variación de la humedad en el suelo durante el período de tiempo (-).
n	Coefficiente de rugosidad de Manning (s/m ^{1/3}).
N	Número de escalones (-).
N	Velocidad de giro (rpm).
$NPSH_{disp}$	Altura neta de succión positiva disponible (m).
p	Porcentaje de pérdidas técnicas en la red de distribución de agua potable (decimal).
P	Número de habitantes proyectados al período de diseño (hab).
P	Perímetro mojado (m).
P	Población servida en miles de habitantes (hab/1.000).
P	Potencia requerida por la bomba (W).
P	Profundidad de precipitación efectiva (m).
P_{atm}	Presión atmosférica (Pa).
P_e	Profundidad de precipitación efectiva (m).
P_s	Número de suscriptores proyectados al período de diseño (suscriptores).
P_t	Profundidad de precipitación total (m).

RAS. Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales Domésticas y Aguas Lluvias

P_v	Presión de vapor (Pa).
q	Caudal lateral en el conducto (m^2/s).
q	Caudal por unidad de ancho de canal de descarga (m^3/s).
Q	Caudal de agua en la cuneta (m^3/s).
Q	Caudal de agua residual (m^3/s ó L/s).
Q	Caudal de bombeo (m^3/s).
Q	Caudal de flujo (m^3/s ó L/s).
Q	Caudal de vertimiento (m^3/s).
Q	Caudal máximo en el canal de descarga (m^3/s).
Q	Caudal pico de aguas lluvias en método racional (L/s).
Q_0	Caudal base de aguas residuales (m^3/s).
Q_0	Caudal de flujo en la tubería de salida (m^3/s).
Q_1	Caudal captado por el sumidero (m^3/s).
Q_1	Caudal total de flujos laterales (flujos diferentes a la corriente principal) (m^3/s).
Q_2	Caudal que no es captado por el sumidero (m^3/s).
Q_3	Caudal que no es captado por el sumidero (m^3/s).
Q_b	Caudal desviado (m^3/s).
Q_c	Caudal en la cañuela (m^3/s).
Q_c	Caudal de aguas residuales comerciales (m^3/s).
Q_{cf}	Caudal de aguas residuales comerciales final (m^3/s).
Q_{ci}	Caudal de aguas residuales comerciales inicial (m^3/s).
Q_{CE}	Caudal por conexiones erradas (m^3/s).
Q_{CEi}	Caudal por conexiones erradas inicial (m^3/s).
Q_D	Caudal de aguas residuales domésticas (L/s ó m^3/s).
Q_{Df}	Caudal de aguas residuales domésticas final (m^3/s).
Q_{Di}	Caudal de aguas residuales domésticas inicial (m^3/s).
Q_{DT}	Caudal de diseño para cada tramo de la red (m^3/s).
Q_i	Capacidad de intercepción del sumidero (m^3/s).
Q_I	Caudal de aguas residuales industriales (m^3/s).
Q_{If}	Caudal de aguas residuales industriales final (m^3/s).
Q_{Ii}	Caudal de aguas residuales industriales inicial (m^3/s).
Q_{IN}	Caudal de aguas residuales institucionales (m^3/s).
Q_{INf}	Caudal de aguas residuales institucionales final (m^3/s).
Q_{INi}	Caudal de aguas residuales institucionales inicial (m^3/s).
Q_{INF}	Caudal por infiltraciones (m^3/s ó $L/día$ ó L/h).

RAS. Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales Domésticas y Aguas Lluvias

Q_{MD}	Caudal medio diario de aguas residuales (m ³ /s).
Q_{MDf}	Caudal medio diario final (m ³ /s).
Q_{MDi}	Caudal medio diario inicial (m ³ /s).
Q_{MHf}	Caudal máximo horario final (m ³ /s).
Q_{MHi}	Caudal máximo horario inicial (m ³ /s).
Q_n	Caudal total sobre la cuneta (m ³ /s).
Q_p	Caudal de diseño de bombeo (m ³ /s).
Q_{sub}	Caudal de aguas subterráneas por metro lineal de excavación (m ³ /s.m).
Q_s	Caudal de vertimiento (L/día).
R	Radio hidráulico (m).
$r_{curvatura}$	Radio de curvatura de la conexión que cubre la deflexión Δ (m).
Re	Número de Reynolds (-).
S	Altura de succión del suelo en el frente de mojado (m).
S	Espesor de suelo por el cual debe fluir el agua (m).
S	Paso del tornillo (m).
S	Pendiente del fondo de tramo de canal analizado (m/m).
S	Pendiente longitudinal de la tubería, conducto o vía (m/m).
S	Pendiente promedio entre el punto más alejado y el punto de entrada a la red (m/m).
S	Retención potencial máxima (m).
S_e	Pendiente de pérdidas menores (m/m).
S_{ep}	Distancia entre borde de espirales y superficie de la caja (m).
S_f	Pendiente de fricción del flujo (m/m).
S_x	Pendiente transversal de la sección de flujo (m/m).
t	Paso de tiempo (s).
t	Tiempo de cálculo (s).
t	Número de horas de bombeo por día (h).
t	Tiempo mínimo de un ciclo (min).
T	Ancho de la sección del canal en la superficie libre (m).
T	Período de tiempo (s).
T	Temperatura del agua (°C).
T_a	Tiempo que demora el agua lluvia desde la entrada al sistema hasta la salida en el aliviadero (s).
T_C	Tiempo de concentración (min).
T_d	Duración de la lluvia (min).
T_e	Tiempo de entrada (min).

RAS. Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales Domésticas y Aguas Lluvias

T_t	Tiempo de recorrido (min).
v	Velocidad de flujo en la tubería de salida fluyendo totalmente llena (m/s).
v	Velocidad media del flujo (m/s).
V_0	Volumen de agua que se considera altamente contaminado para ser vertido (m ³).
v_1	Velocidad del flujo en la sección 1 (m/s).
v_1	Velocidad del flujo en la tubería o conducto de entrada (m/s).
v_1	Velocidad en el canal aguas abajo de la contracción (m/s).
v_1	Velocidad en el canal aguas abajo de la expansión (m/s).
v_2	Velocidad del flujo en la sección 2 (m/s).
v_2	Velocidad del flujo en la tubería o conducto de salida (m/s).
v_2	Velocidad en el canal aguas arriba de la contracción (m/s).
v_2	Velocidad en el canal aguas arriba de la expansión (m/s).
v_A	Velocidad de aproximación al sumidero (m/s).
V_F	Volumen del primer lavado (m ³).
v_{min}	Velocidad mínima inicial (m/s).
v_{min}	Velocidad mínima real a tubo lleno para condiciones iniciales (m/s).
v_s	Velocidad media de escorrentía superficial (m/s).
v_x	Velocidad en la dirección del flujo (m/s).
Vol_{min}	Volumen mínimo requerido del pozo de succión con respecto al número de ciclos (m ³).
W	Longitud del sistema de captación principal (m).
x	Distancia longitudinal entre dos secciones (m).
x_0	Abscisa de la sección inicial de cálculo (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).
x_n	Abscisa de la sección final de cálculo (m).
y	Profundidad del agua en el conducto, canal, tubería, cámara, cuneta, sumidero, sección, cuenca, etc. (m).
y'	Profundidad de flujo que depende de la configuración geométrica de la zona de localización de la rejilla (m).
y_0	Profundidad de flujo en la sección inicial de cálculo (m).
y_1	Profundidad del agua en el punto 1 (m).
y_1	Profundidad del agua en el punto de impacto aguas debajo de la caída (m).
y_1	Profundidad de flujo en la tubería de entrada (m).
y_2	Profundidad del agua en el punto 2 (m).
y_2	Profundidad de flujo aguas abajo del resalto hidráulico (m).
y_2	Profundidad de flujo en la tubería de salida (m).

RAS. Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales Domésticas y Aguas Lluvias

y_A	Profundidad del flujo de aproximación al sumidero (m).
y_c	Profundidad crítica (m).
y_d	Profundidad de almacenamiento de la cuenca (m).
y_f	Profundidad de flujo en la sección final de cálculo (m).
y_i	Profundidad de flujo en la sección i (m).
y_{i+1}	Profundidad de flujo en la sección i+1 (m).
y_n	Profundidad normal del agua (m).
y_p	Profundidad promedio del agua sobre la rejilla (m).
y_p	Altura de la piscina (m).
Z	Factor de Pomeroy (-).
z_1	Elevación del punto 1 sobre el plano de referencia (m).
z_2	Elevación del punto 2 sobre el plano de referencia (m).
$(y/d)_{ent}$	Relación entre la profundidad de flujo y el diámetro real interno de la tubería de entrada (-).
$\%I$	Porcentaje de área con cubierta impermeable.
α	Ángulo del codo del sifón (grados).
α	Ángulo de instalación (grados).
α	Coefficiente de Coriolis (-).
α	Coefficiente de decaimiento (s^{-1}).
β	Coefficiente de Boussinesq (-).
γ	Peso específico del agua (N/m^3).
η	Humedad inicial (%).
η	Eficiencia del bombeo (-).
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 (radianes).
θ	Ángulo del fondo de la tubería con respecto a la horizontal (grados).
θ	Ángulo de la pendiente de la depresión (grados).
θ	Ángulo formado entre el bordillo y la carpeta de rodadura (grados).
θ_i	Humedad final en el período de tiempo T (%).
ν	Viscosidad cinemática (m^2/s).
ρ	Densidad del agua residual (kg/m^3).
τ	Esfuerzo cortante en la pared de la tubería (Pa).
τ_b	Esfuerzo cortante en el fondo de la tubería (Pa).
Δ	Ángulo de deflexión entre el tramo de entrada y el tramo de salida de la cámara (grados).
Δ	Ángulo de intersección entre la tubería de salida y la tubería de entrada hidráulicamente dominante (grados).
Δ_{max}	Deflexión máxima del tornillo (m).

ΔE	Cambio de la energía específica (m).
ΔH	Pérdida total de altura debido a la estructura escalonada (m).
Δt	Intervalo de tiempo (s).
Δx	Distancia longitudinal entre dos secciones (m).
Δz	Caída de fondo en la estructura de conexión y/o inspección (m).
Δz	Altura de la caída (m).
Δz	Altura total de caída (m).
δ_t	Tiempo requerido para iniciar escorrentía efectiva (s).

D.0.3 ABREVIATURAS

AASTHO	American Association of State Highway and Transportation Officials of USA
AMA	Autoridad Municipal Ambiental
ANSI	American National Standards Institute of USA
ASTM	American Society for Testing and Materials
AWWA	American Water Works Association Standard of USA
CCP	Concreto reforzado con cilindro de acero
CCTV	Circuito Cerrado de Televisión
CIDET	Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico Sector Eléctrico Colombiano
CN	Número de curva
CONPES	Consejo Nacional de Política Económica y Social
CRA	Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadística
DIN	Deutsche Industrie Norm (DIN Deutsches Institut für Normung e.V.)
DNP	Departamento Nacional de Planeación
EBOT	esquema básico de ordenamiento territorial
FAA	Federal Aviation Administration of USA
GPS	Global Positioning System – Sistema de Posicionamiento Global
GRP	Glass Reinforced Polyester - poliéster reforzado con fibra de vidrio
HD	Hierro dúctil
HEC	<i>Hydraulic Engineering Circular</i>
HEC-HMS	<i>Hydrologic Modeling System (HMS) del Hydrologic Engineering Center (HEC)</i>
ICONTEC	Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
IDF	Curvas de intensidad-duración-frecuencia
Ingeominas	Instituto Colombiano de Geología y Minería

RAS. Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales Domésticas y Aguas Lluvias

IES	International Electrical Standards
IGAC	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
ISO	Internacional Standard Organization
MAVDT	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial
MADS	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
MIDU	Manejo integral del drenaje urbano
MSPS	Ministerio de Salud y Protección Social
MVCT	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio
NEGC	Normas y especificaciones generales de construcción
NSR	Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente
NRCS	U.S. Natural Resources Conservation Service - Servicio de Conservación de los Recursos Naturales de los Estados Unidos
PE	Polietileno
POT	Plan de Ordenamiento Territorial
PP	Polipropileno
PPSPA	Persona Prestadora del Servicio Público de Alcantarillado
PSMV	Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos
PVC	Policloruro de Vinilo
RAS	Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico
SCS	Soil Conservation Service of USA - Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos
SSPD	Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios
SWMM	<i>Storm Water Management Model</i>

D.0.4 NORMAS TÉCNICAS REFERENCIADAS

Las siguientes son las normas técnicas, tanto expedidas por el ICONTEC, por la AWWA y por la ASTM a las cuales se hace referencia en este Título. En caso de conflicto, prevalecerá lo establecido en las normas técnicas colombianas del presente documento. Así mismo en ausencia de norma colombiana específica, se recomienda recurrir a las normas expedidas por organismos técnicos de reconocimiento internacional.

D.0.4.1 Normas técnicas colombianas

NTC 30	Cemento Portland. Clasificación y nomenclatura.
NTC 44	Tubos y juntas de asbesto-cemento para conducción de fluidos a presión.
NTC 105	Tubos de acero tipo "EMT", recubiertos de zinc para la conducción y protección de conductores eléctricos -Tubería Conduit-.
NTC 116	Alambre duro de acero para refuerzo de concreto.
NTC 121	Cemento Portland. Especificaciones físicas y mecánicas.
NTC 126	Solidez de los agregados con el uso del sulfato de sodio o sulfato de magnesio.

RAS. Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales Domésticas y Aguas Lluvias

NTC 127	Determinación de impurezas orgánicas en agregado fino para concreto.
NTC 159	Alambres de acero, sin recubrimiento, liberados de esfuerzos para concreto pretensado.
NTC 161	Barras lisas de acero al carbono para hormigón armado.
NTC 174	Especificaciones de los agregados para concreto.
NTC 183	Determinación de la dureza al rayado de los agregados gruesos.
NTC 239	Accesorios para tubos de aguas residuales de asbesto cemento.
NTC 245	Barras de acero al carbono trabajadas en frío para hormigón reforzado.
NTC 248	Barras y rollos corrugados de acero al carbono para hormigón reforzado.
NTC 268	Tubos de aguas residuales de asbesto cemento.
NTC 277	Motores y generadores eléctricos.
NTC 321	Cemento Portland, especificaciones químicas.
NTC 369	Plásticos. Compuestos rígidos de poli (cloruro de vinilo) (PVC) y compuestos de poli (cloruro de vinilo) clorado (CPVC).
NTC 384	Asbesto-cemento. Tubos para alcantarillado.
NTC 401	Tubos de hormigón reforzado para alcantarillados.
NTC 487	Manguitos de asbesto-cemento.
NTC 511	Tubos de gres de resistencia normal para drenaje.
NTC 589	Determinación del porcentaje de terrones de arcilla y partículas deleznable en los agregados.
NTC 718	Acondicionamiento de plásticos para ensayos.
NTC 747	Tubos de concreto para presión, tipo cilindro de acero con refuerzo de varilla.
NTC 1022	Tubos de concreto sin refuerzo para alcantarillado.
NTC 1087	Tubos de policloruro de vinilo (PVC) rígido para uso de aguas residuales.
NTC 1125	Determinación de la resistencia al impacto de tubos y accesorios termoplásticos por medio de una baliza (peso en caída).
NTC 1259	Ingeniería Civil y Arquitectura. Instalación de tuberías para conducción de aguas sin presión.
NTC 1260	Plásticos. Tubos de policloruro de vinilo - PVC - rígido para ventilación y aguas lluvias.
NTC 1299	Aditivos químicos para concreto.
NTC 1328	Juntas flexibles para la unión de tubos circulares de concreto.
NTC 1341	Accesorios de PVC rígidos para tuberías sanitarias.
NTC 1393	Tapas para cámaras de inspección.
NTC 1461	Colores y señales de seguridad.
NTC 1483	Detectores de incendio. Clasificación.
NTC 1500	Código Colombiano de Fontanería.
NTC 1747	Plásticos. Tubos de polietileno PE especificados por su diámetro interior (RDIE-PM).
NTC 1748	Tubos de policloruro (PVC) rígido para alcantarillado.

RAS. Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales Domésticas y Aguas Lluvias

NTC 1762	Válvulas de retención (cheque) de aleación de cobre.
NTC 1775	Bombas centrífugas, bombas de flujo axial y mixto. Ensayos clase.
NTC 1867	Sistema de señales contra incendio. Instalación y usos.
NTC 1907	Siderurgia. Alambre de acero para concreto armado.
NTC 1925	Mallas de acero soldadas fabricadas con alambre liso, para refuerzo de concreto.
NTC 1931	Seguridad contra incendios. Señales.
NTC 1991	Flotadores para accionamiento de válvulas.
NTC 2011	Válvulas de acondicionamiento por flotador.
NTC 2050	Código Eléctrico Colombiano.
NTC 2091	Tubería de acero corrugado y galvanizado para alcantarillado y drenaje subterráneo.
NTC 2076	Recubrimiento de zinc por inmersión en caliente para elementos en hierro y acero.
NTC 2310	Mallas de acero soldadas fabricadas con alambre corrugado.
NTC 2346	Accesorios en hierro dúctil y/o hierro gris para agua y otros líquidos. Serie inglesa.
NTC 2534	Uniones mecánicas para tubos plásticos de desagüe y alcantarillado.
NTC 2536	Sellos elastoméricos. Empaques para uniones de tubos plásticos.
NTC 2587	Tuberías de hierro dúctil. Acoples y accesorios para líneas de tuberías de presión.
NTC 2629	Tubería de hierro dúctil. Revestimiento de mortero-cemento centrifugado. Controles de composición del mortero recientemente aplicado.
NTC 2697	Accesorios de PVC rígido para tubería de alcantarillado.
NTC 2795	Práctica normalizada para la instalación subterránea de tubos termoplásticos de alcantarillado y otras aplicaciones de flujo por gravedad.
NTC 2802	Cámaras de inspección para alcantarillados, construidas en mampostería de ladrillo tolete recocido.
NTC 2836	Materias primas para pintura. Resinas epóxicas.
NTC 2935	Plásticos. Materiales de polietileno para tubos y accesorios.
NTC 2966	Materiales para inyección y extrusión de polipropileno.
NTC 3237	Siderurgia. Método para determinar el peso – masa – del recubrimiento de cinc o aleaciones de cinc en artículos de hierro y acero.
NTC 3254	Determinación de las características de carga exterior de tubos plásticos por medio de placas paralelas.
NTC 3359	Bridas y accesorios con brida para tubos de hierro fundido.
NTC 3358	Determinación de las dimensiones de tubos y accesorios termoplásticos.
NTC 3526	Juntas de compresión para tubería y accesorios de gres.
NTC 3576	Plásticos. Método de ensayo para determinar los índices de fluidez (velocidades de flujo) de polímeros termoplásticos por medio de un plastometro de extrusión.
NTC 3577	Determinación de la densidad de plásticos por la técnica del gradiente de densidad.
NTC 3640	Tubos corrugados en policloruro de vinilo (PVC) con interior liso y accesorios para alcantarillado.
NTC 3654	Transformadores de potencia tipo seco.

RAS. Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales Domésticas y Aguas Lluvias

NTC 3676	Métodos para ensayo de cámaras de inspección en concreto.
NTC 3721	Plásticos. Tubos ligeros y accesorios para sistemas de drenaje subterráneo y alcantarillado. Métodos de ensayo generales.
NTC 3722-1	Plásticos. Tubos ligeros y accesorios para sistemas de drenaje subterráneo y alcantarillado. Especificaciones para PVC-U. Parte 1- Serie métrica.
NTC 3789	Secciones de cámara de inspección de prefabricados en concreto reforzado.
NTC 3818	Tubería metálica. Recubrimiento epóxico con adherencia mediante fusión para aplicación externa sobre tubería de acero.
NTC 3819	Tubería metálica. Recubrimiento de polietileno para tubería metálica.
NTC 3870	Tubos de fibra de vidrio para usos en alcantarillado.
NTC 3875	Plásticos. Determinación de la resistencia química de los tubos de fibra de vidrio (resina termoestable reforzada con fibra de vidrio) en condiciones de aplastamiento.
NTC 3876	Plásticos. Método de ensayo para la determinación de la deformación anular a largo plazo de tubos de fibra de vidrio (resina termoestable reforzada con fibra de vidrio).
NTC 3877	Plásticos. Especificaciones para juntas de fibra de vidrio (resina termoestable con fibra de vidrio) usando sellos elastoméricos.
NTC 3878	Plásticos. Prácticas para instalación subterránea de tubos de fibra de vidrio (resina termoestable reforzada con fibra de vidrio).
NTC 3918	Plásticos. Método de ensayo para determinar la resistencia a la presión externa de tubos de fibra de vidrio (resina termoestable reforzada con fibra de vidrio).
NTC 4089	Accesorios de gres para alcantarillado y perforados para drenaje. Resistencia normal.
NTC 4223	Métodos para ensayo de presión negativa con aire en cámaras de inspección para alcantarillados.
NTC 4326	Tubos de acero. Recubrimiento externo con triple capa a base de polipropileno. Aplicación por extrusión.
NTC 4392	Método de ensayo para determinar la resistencia a la tensión aparente del anillo o de plásticos tubulares y plásticos reforzados mediante el método de disco muescado.
NTC 4594	Tubos de concreto reforzado para bajas cabezas de presión.
NTC 4764-1	Tubos y accesorios termoplásticos con superficies interna lisa y externa perfilada. Parte 1. Dimensiones.
NTC 4764-2	Tubos y accesorios termoplásticos con superficies interna lisa y externa perfilada. Parte 2. Condiciones técnicas de entrega.
NTC 4777	Recubrimientos protectores epóxicos interiores para válvulas e hidrantes.
NTC 4831	Tubería de acero corrugado. Recubrimiento metálico, para drenajes y alcantarillas.
NTC 4854	Tubería de acero corrugada, recubierta de polímero para alcantarillado y desagües.
NTC 4839	Accesorios de polietileno para sistemas enterrados y a la vista, utilizados en alcantarillado, drenaje y sistemas presurizados para el transporte de agua destinada a propósitos generales.
NTC 4937 – 1	Tubería de hierro dúctil. Revestimiento exterior de zinc. Parte 1: Zinc metálico con capa de acabado.
NTC 4937 – 2	Tubería de hierro dúctil. Recubrimiento exterior de zinc. Parte 2. Pintura rica en zinc con capa de acabado.

RAS. Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales Domésticas y Aguas Lluvias

NTC 5055	Tubos y accesorios de policloruro de vinilo (PVC) perfilados para uso en alcantarillado por gravedad controlados por el diámetro interior.
NTC 5064	Diseño estructural de tubos de acero corrugado circulares, abovedados y arcos para desagües de aguas lluvias y sanitarias y otras aplicaciones enterradas.
NTC 5070	Tubos y accesorios de policloruro de vinilo (PVC) fabricados con perfil cerrado para uso en alcantarillado, controlados por el diámetro interno.
NTC 5138	Lámina estructural corrugada y pernos para la conformación de tubos.
NTC 5229	Instalación de tubos de acero corrugado hecho en fábrica para drenajes y otras aplicaciones.
NTC 5320	Especificaciones para conduit de pared sólida de polietileno de alta densidad basado en diámetro exterior controlado.
NTC 5447	Plásticos. Especificaciones para tuberías y accesorios de polietileno (PE) de 300 mm a 1500 mm (12 pulgadas a 60 pulgadas), con pared de perfil anular corrugado para aplicaciones de alcantarillado de aguas lluvias de flujo por gravedad y drenaje de superficies.
NTC-5646-1	Sistemas de tubería plástica para drenajes y alcantarillados enterrados sin presión. Policloruro de vinilo rígido (PVC-U), polipropileno (PP) y polietileno (PE). Parte 1: Especificaciones para los accesorios auxiliares incluyendo cámaras de inspección superficiales.
NTC-5646-2	Sistemas de tubería plástica para drenajes y alcantarillados enterrados sin presión. Policloruro de vinilo rígido (PVC-U), polipropileno (PP) y polietileno (PE). Parte 2: Especificaciones para cámaras de inspección y acceso en áreas de tráfico pesado y profundidad de enterramiento e instalación.

D.0.4.2 Normas técnicas internacionales

D.0.4.2.1 Normas técnicas AWWA

AWWA C 104	<i>American National Standard for cement-mortar lining for ductile-iron pipe and fittings for water. (ANSI A 21.4).</i>
AWWA C 105	<i>American National Standard for polyethylene encasement for ductile-iron pipe systems. (ANSI A 21.5).</i>
AWWA C 106	<i>American National Standard for cast iron pipe centrifugally cast in metal molds, for water or other liquids. (ANSI A 21.6).</i>
AWWA C 110	<i>American National Standard for ductile-iron and gray-iron fittings, 3 In Through 48 In. (75 mm Through 1200 mm), for water and other liquids. (ANSI A 21.10).</i>
AWWA C 115	<i>American National Standard for flanged ductile-iron pipe with ductile-iron or gray-iron threaded flanges. (ANSI A 21.15).</i>
AWWA C 116	<i>Protective Fusion-Bonded Epoxy Coatings for the Interior and Exterior Surfaces of Ductile-Iron and Gray-Iron Fittings for Water Supply Service.</i>
AWWA C 200	<i>Steel Water Pipe 6 In. -150mm- and Larger.</i>
AWWA C 205	<i>Cement-Mortar Protective Lining and Coating for Steel Water Pipe 4 In. (100 mm) and Larger.</i>
AWWA C 208	<i>Dimensions for Fabricated Steel Water Pipe Fittings.</i>
AWWA C 210	<i>Standard for Liquid-Epoxy Coating Systems for the Interior and Exterior of Steel Water Pipelines.</i>

RAS. Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales Domésticas y Aguas Lluvias

AWWA C 300	<i>Reinforced Concrete Pressure Pipe, Steel-Cylinder Type, for Water and Other Liquids.</i>
AWWA C 301	<i>Prestressed Concrete Pressure Pipe, Steel-Cylinder Type, for Water and Other Liquids.</i>
AWWA C 302	<i>Reinforced Concrete Pressure Pipe, Noncylinder Type.</i>
AWWA C 508	<i>Swing Check Valves for Water Works Service.</i>
AWWA C 510	<i>Double Check Valve Backflow Prevention Assembly.</i>
AWWA C 902	<i>Standard for polybutylene (PB) pressure pipe and tubing, ½ In. Through 3 In, for water.</i>
AWWA D 104	<i>Automatically Controlled, Impressed-Current Cathodic Protection for the Interior of Steel Water Tanks.</i>
AWWA E 101	<i>Vertical Turbine Pumps-line Shaft and Submersible Types.</i>
AWWA M 9	<i>Concrete Pressure Pipe.</i>
AWWA M 11	<i>Steel Water Pipe: A Guide for Design and Installation.</i>
AWWA M 27	<i>External Corrosion - Introduction to Chemistry and Control.</i>
AWWA M 41	<i>Ductile-Iron Pipe Fittings.</i>

D.0.4.2.2 Normas técnicas ASTM

A 74	<i>Specification for cast iron soil pipe and fittings.</i>
A 475	<i>Standard specification for general requirements for delivery of zinc coated (galvanized) iron or steel sheets, coils and cut lengths coated by the hot dip method.</i>
A 746	<i>Specification for ductile iron gravity sewer pipe.</i>
A 760	<i>Specification for corrugated steel pipe, metallic-coated for sewers and drains.</i>
A 761	<i>Standard specification for corrugated steel structural plate, zinc-coated, for field-bolted pipe, pipe-arches, and arches.</i>
A 762	<i>Specification for corrugated steel pipe, polymer precoated for sewers and drains.</i>
A 796	<i>Structural design of corrugated pipe, pipe-arches, and arches for storm and sanitary sewers and other buried applications.</i>
A849	<i>Post applied coatings, pavings, and linings for corrugated steel sewer and drainage pipe.</i>
A979	<i>Concrete pavements and linings installed in corrugated steel structures in the field.</i>
C 12	<i>Installing vitrified clay pipelines.</i>
C 14	<i>Standard specification for concrete sewer, storm drain, and culvert pipe.</i>
C 76	<i>Standard specification for reinforcement concrete culvert, storm drain, and sewer pipe.</i>
C 260	<i>Air entrainment admixtures for concrete.</i>
C 301	<i>Standard test methods for vitrified clay pipe.</i>
C 361	<i>Standard specification for reinforced concrete low-head pressure pipe.</i>
C 425	<i>Specifications for compression joints for vitrified clay pipe and fittings.</i>
C 428	<i>Standard specification for asbestos-cement nonpressure sewer pipe.</i>
C 443	<i>Standard specification for joints for circular concrete sewer and culvert pipe, using rubber gaskets.</i>

RAS. Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales Domésticas y Aguas Lluvias

- C 506 *Specification for reinforced concrete arch culvert, storm drain and sewer pipe.*
- C 507 *Specification for reinforced concrete elliptical culvert, storm drain and sewer pipe.*
- C 582 *Contact-molded reinforced thermosetting plastic (RTP) laminates for corrosion-resistant equipment.*
- C 618 *Coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use as a mineral admixture in concrete.*
- C 644 *Standard terminology relating to iron castings.*
- C 655 *Specification for reinforced concrete D-load culvert, storm drain and sewer pipe.*
- C 700 *Specification for vitrified clay pipe, extra strength, standard strength and perforated.*
- C 828 *Low pressure air test of vitrified clay pipe lines.*
- C 877 *Specification for external sealing bands for noncircular concrete sewer, storm drain and culvert pipe.*
- C 924 *Testing concrete pipe sewer lines by low pressure air test method.*
- C 969 *Infiltration and exfiltration acceptance testing of installing precast concrete pipe sewer lines.*
- C 1091 *Hydrostatic infiltration and exfiltration testing of vitrified clay pipe lines.*
- C 1214 *Concrete pipe sewer lines by negative air pressure (vacuum) test method.*
- D 1248 *Specification for polyethylene plastics molding and extrusion materials.*
- D 1600 *Terminology for abbreviated terms relating to plastics.*
- D 2239 *Specification for polyethylene (PE) plastic pipe (SDR-PR) based on controlled inside diameter.*
- D 2310 *Specification for machine-made classification, reinforced thermosetting-resin (RTR) pipe, classification.*
- D 2321 *Standard practice for underground installation of thermoplastic pipe for sewers and other gravity-flow application.*
- D 2412 *Test for external loading characteristics of plastic pipe, by parallel-plate loading.*
- D 2564 *Specification for solvent cements for PVC piping systems.*
- D 2581 *Specification for polybutylene (PB) plastic molding/extrusion materials.*
- D 2680 *Specification for acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS) and Poly (Vinyl Chloride) (PVC) composite sewer pipe.*
- D 2924 *Standard Test Method for External Pressure Resistance of "Fiberglass" (Glass-Fiber-Reinforced Thermosetting Resin) Pipe.*
- D 2996 *Specification for filament-wound glass-fiber-reinforced thermosetting-resin (fiberglass) pipe.*
- D 2997 *Specification for fiberglass pipe-centrifugally cast.*
- D 3033 *Specification for type PSP Poly (Vinyl Chloride) (PVC) sewer pipe and fittings.*
- D 3034 *Specification for sewer pipe/fittings - PVC, type PSM for sewer applications.*
- D 3035 *Specification for polyethylene (PE) plastic pipe (SDR-PR) based on controlled outside diameter.*
- D 3212 *Specification for joint for drain/sewer plastic pipes, using flexible elastomeric seals.*

RAS. Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales Domésticas y Aguas Lluvias

- D 3261 *Specification for butt heat fusion polyethylene (PE) plastic fittings for polyethylene (PE) plastic fittings for polyethylene (PE) pipe and tubing.*
- D 3262 *Specification for fiberglass sewer pipe, for conveying sanitary sewage/storm water/industrial wastes.*
- D 3350 *Specification for polyethylene (PE) plastic pipe based on outside diameter.*
- D 3681 *Specification for chemical resistance of fiber glass (glass fiber reinforced thermosetting resin) pipe in a defected condition.*
- D 3754 *Specification for fiberglass (Glass-Fiber-Reinforced Thermosetting-Resin) sewer and industrial pressure pipe.*
- D 3839 *Standard Practice for Underground Installation of "Fiberglass" (Glass-Fiber-Reinforced Thermosetting Resin) Pipe.*
- D 4161 *Standard Specification for "Fiberglass" (Glass-Fiber-Reinforced Thermosetting-Resin) Pipe Joints Using Flexible Elastomeric Seals.*
- D 5365 *Standard test method for long-term ring-bending strain of "fiberglass" (glass-fiber-reinforced thermosetting-resin) pipe.*
- F 412 *Terminology relating to plastic piping.*
- F 477 *Standard specification for elastomeric seals (gaskets) for joining plastic pipe.*
- F 545 *Standard specification for PVC and ABS injected solvent cemented plastic pipe joints.*
- F 585 *Standard practice for insertion of flexible polyethylene pipe into existing sewers.*
- F 679 *Standard specification for polyvinyl chloride (PVC) large-diameter plastic gravity sewer pipe and fittings.*
- F 714 *Standard specification for polyethylene (PE) plastic pipe (SDR-PR) based on outside diameter.*
- F 794 *Standard Specification for Poly (Vinyl Chloride) (PVC) Profile Gravity Sewer Pipe and Fittings Based on Controlled Inside Diameter.*
- F 809 *Standard specification for large diameter polybutilene plastic pipe.*
- F 894 *Standard specification for polyethylene (PE) large diameter profile wall sewer and drain pipe.*
- F 949 *Specification for Poly (Vinyl Chloride) Corrugated Sewer Pipe With a Smooth Interior and Fittings.*
- F 1216 *Standard Practice for Rehabilitation of Existing Pipelines and Conduits by the Inversion and Curing of a Resin-Impregnated Tube.*
- F 1417 *Standard test method for installation acceptance of plastic gravity sewer lines using low pressure air.*
- F 1668 *Standard Guide for Construction Procedures for Buried Plastic Pipe.*
- F 2136 *Test method for notched, constant ligament – stress (NCLS)*
- F 2306 *Standard specification for 12 to 60 in. (300 to 1500 mm) annular corrugated profile-wall polyethylene (PE) pipe and fittings for gravity-flow storm sewer and subsurface drainage applications.*
- F 2307 *Standard Specification for Series 10 Poly (Vinyl Chloride) (PVC) Closed Profile Gravity Pipe and Fittings Based on Controlled Inside Diameter.*
- F 2389 *Standard Specification for Pressure-rated Polypropylene (PP) Piping Systems.*

- F 2487 *Standard practice for infiltration and exfiltration acceptance testing of installed corrugated high density polyethylene pipelines.*
- F 2736 *6 to 30 in. (152 To 762 mm) Polypropylene (PP) Corrugated Single Wall Pipe And Double Wall Pipe.*
- F2764 *Standard Specification for 30 to 60 in. [750 to 1500 mm] Polypropylene (PP) Triple Wall Pipe and Fittings for Non-Pressure Sanitary Sewer Applications.*

D.0.4.2.3 Normas técnicas ISO

- 881 *Asbestos-cement pipes, joints and fittings for sewerage and drainage.*
- 21138-1 *Plastics piping systems for non-pressure underground drainage and sewerage -- Structured-wall piping systems of unplasticized poly(vinyl chloride) (PVC-U), polypropylene (PP) and polyethylene (PE) -- Part 1: Material specifications and performance criteria for pipes, fittings and system.*
- 21138-2 *Plastics piping systems for non-pressure underground drainage and sewerage -- Structured-wall piping systems of unplasticized poly(vinyl chloride) (PVC-U), polypropylene (PP) and polyethylene (PE) -- Part 2: Pipes and fittings with smooth external surface, Type A.*
- 21138-3 *Plastics piping systems for non-pressure underground drainage and sewerage -- Structured-wall piping systems of unplasticized poly(vinyl chloride) (PVC-U), polypropylene (PP) and polyethylene (PE) -- Part 3: Pipes and fittings with non-smooth external surface, Type B.*
- 2531 *Tubos, racores y accesorios de fundición dúctil para canalizaciones a presión.*
- 4633 *Juntas de estanqueidad de caucho – Guarniciones de juntas de canalizaciones de alimentación y evacuación de aguas (alcantarillados incluidos) – Especificación de materiales.*
- 5208 *Ensayos de fábrica para válvulas de mariposa.*
- 5210 *Conexión a los mecanismos manuales y eléctricos para válvulas de mariposa.*
- 5752 *Dimensiones entre caras de las válvulas bridadas.*
- 5752-14 *Dimensionamiento de válvulas de mariposa.*
- 7005-2 *Bridas de unión para válvulas.*
- 7259 *Válvulas con compuertas revestidas de Elastómero.*
- 7671 *Plastics piping systems for soil and waste discharge (low and high temperature) inside buildings -- Polypropylene (PP)*
- 8773 *Plastics piping systems for non-pressure underground drainage and sewerage -- Polypropylene (PP)*
- 9969 *Thermoplastics pipes — Determination of ring stiffness*
- 13272 *Plastics piping systems for non-pressure underground drainage and sewerage -- Unplasticized poly(vinyl chloride) (PVC-U), polypropylene (PP), polypropylene with mineral modifiers (PP-MD) and polyethylene (PE) -- Specifications for manholes and inspection chambers in traffic areas and underground installations*
- 15494 *Plastics pipe systems for Industrial applications - Polybutene (PB), polyethylene (PE) and polypropylene (PP) - Specifications for components and the system - metric series.*

D.0.4.2.4 Normas técnicas AASHTO

M 36	<i>Zinc coated (galvanized) corrugated iron or steel culverts and underdrains.</i>
M 245	<i>Precoated, galvanized steel culverts and underdrains.</i>
M 252	<i>Standard specification for corrugated polyethylene drainage pipe. Nominal sizes of 75 to 250 mm.</i>
M 294	<i>Standard specification for corrugated polyethylene drainage pipe. Nominal sizes of 300 to 1500 mm.</i>
Section 30	<i>Highway Bridge Specifications. Thermoplastic pipes.</i>

D.0.4.2.5 Normas técnicas DIN

DIN EN 16928	<i>Pipes of Thermoplastic Materials; Pipe Joints, Elements for Pipes, Laying; General Directions</i>
DIN EN 19560-10	<i>Pipes and fittings made of polypropylene (PP) for hot water resistant waste and soil discharge systems inside buildings - Part-10: Fire behaviour, quality control and installation recommendations</i>
DIN EN 13476-3	<i>Plastics piping systems for non-pressure underground drainage and sewerage - Structured-wall piping systems of unplasticized poly(vinyl chloride) (PVC-U), polypropylene (PP) and polyethylene (PE) - Part 3: Specifications for pipes and fittings with smooth internal and profiled external surface and the system, Type B; German version EN 13476-3:2007+A1:2009</i>
DIN EN 13476-4	<i>Plastics piping systems for non-pressure underground drainage and sewerage - Structured-wall piping systems of unplasticized poly(vinyl chloride) (PVC-U), polypropylene (PP) and polyethylene (PE) - Part 4: Guidance for the assessment of conformity; German version CEN/TS 13476-4:2008</i>
DIN 1994 4	<i>Phosphorescent Pigments and Products: Photoluminescent Products for Safety Applications.</i>
DIN 30675-2	<i>External Corrosion Protection of Buried Pipes; Corrosion Protection Systems for Ductile Iron Pipes.</i>

D.0.4.3 Normas técnicas y manuales de personas prestadoras del servicio público de alcantarillado

Además de las normas nacionales e internacionales, se debe tener en cuenta la normativa interna y los manuales de las personas prestadoras del servicio para realizar los diseños, la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento de los sistemas de recolección de aguas residuales y/o lluvias.

D.0.4.4 Otras normas o guías técnicas

ATV-DVWK- A 110E	<i>Hydraulic Dimensioning and Performance Verification of Sewers and Drains.</i>
ATV-DVWK- A- 57E	<i>Sewer System Structures.</i>
ATV-A 111E	<i>Standards for the Hydraulic Dimensioning and the Performance Verification of Stormwater Overflow Installations in Sewers and Drains.</i>
ATV-A 105E	<i>Selection of the Drainage System.</i>
ATV- A 118E	<i>Hydraulic Dimensioning and Verification of Drainage.</i>
ATV-A 128E	<i>Standards for the Dimensioning and Design of Stormwater Structures in Combined Sewers.</i>

RAS. Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales Domésticas y Aguas Lluvias

ATV-M 143E	<i>Inspection, Repair, Rehabilitation and Replacement of Sewers and Drains.</i>
EN 1610	<i>Construction and testing of drains and sewers.</i>
EN 13566	<i>Plastics piping systems for renovation of underground non-pressure drainage and sewerage networks.</i>
EN 13598-1	<i>Plastics piping systems for non-pressure underground drainage and sewerage. Unplasticized poly(vinyl chloride) (PVC-U), polypropylene (PP) and polyethylene (PE). Specifications for ancillary fittings including shallow inspection chambers.</i>
EN 13598-2	<i>Plastics piping systems for non-pressure underground drainage and sewerage. Unplasticized poly(vinyl chloride) (PVC-U), polypropylene (PP) and polyethylene (PE). Specifications for manholes and inspection chambers in traffic areas and deep underground installations.</i>
DIN CEN/TS 14758-3	<i>Plastics piping systems for non-pressure underground drainage and sewerage - Polypropylene with mineral modifier(s) (PP-MD) - Part 3: Guidance for installation; German version CEN/TS 14758-3:2006</i>
Guía RAS 001	“Definición del Nivel de Complejidad del Sistema y Evaluación de la Población, la Dotación y la Demanda de Agua”.

D.0.1 NORMATIVIDAD RELACIONADA CON EL SERVICIO PUBLICO DOMICILIARIO DE ALCANTARILLADO

CARTA POLÍTICA DE 1991

Los artículos 8, 79 y 80 de la Constitución Política señalan que es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica, fomentar la educación para el logro de estos fines, planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución.

Así mismo, el artículo 8 y el numeral 8 del artículo 95 de la Constitución Política disponen que es obligación de los particulares proteger los recursos naturales del país y velar por la conservación de un ambiente sano.

Igualmente prevé la intervención del Estado en las actividades económicas – artículos 333 y 334.

El artículo 365 determina que los servicios públicos son inherentes a la finalidad social del Estado y el deber del Estado de asegurar su prestación eficiente a todos los habitantes del territorio nacional. Los servicios públicos estarán sometidos al régimen jurídico que fije la ley, podrán ser prestados por el Estado, directa o indirectamente, por comunidades organizadas, o por particulares. En todo caso, el Estado mantendrá la regulación, el control y la vigilancia de dichos servicios. Si por razones de soberanía o de interés social, el Estado, mediante ley aprobada por la mayoría de los miembros de una y otra cámara, por iniciativa del Gobierno

decide reservarse determinadas actividades estratégicas o servicios públicos, deberá indemnizar previa y plenamente a las personas que en virtud de dicha ley, queden privadas del ejercicio de una actividad lícita.

El Artículo 367 establece que la ley fijará las competencias y responsabilidades relativas a la prestación de los servicios públicos domiciliarios, su cobertura, calidad y financiación, y el régimen tarifario que tendrá en cuenta además de los criterios de costos, los de solidaridad y redistribución de ingresos.

Los servicios públicos domiciliarios se prestarán directamente por cada municipio cuando las características técnicas y económicas del servicio y las conveniencias generales lo permitan y aconsejen, y los departamentos cumplirán funciones de apoyo y coordinación.

La ley determinará las entidades competentes para fijar las tarifas.

El artículo 368 consagra la facultad de la Nación, los departamentos, los distritos, los municipios y las entidades descentralizadas para conceder subsidios, en sus respectivos presupuestos, para que las personas de menores ingresos puedan pagar las tarifas de los servicios públicos domiciliarios que cubran sus necesidades básicas.

El artículo 370 consagra la facultad del Presidente de la República de señalar, con sujeción a la ley, las políticas generales de administración y control de eficiencia de los servicios públicos domiciliarios y ejercer por medio de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, el control, la inspección y vigilancia de las entidades que los presten.

A continuación se presenta una relación de las disposiciones más relevantes aplicables al sector de servicios públicos domiciliarios en especial con respecto al servicio público domiciliario de alcantarillado.

Tabla D.0.1. Normas relacionadas con el agua como recurso natural renovable

Norma	Título
Decreto-ley 2811 de 1974	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente”
Ley 9 de 1979	Por la cual se dictan Medidas Sanitarias.
Ley 99 de 1993	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones.
Ley 142 de 1994	Por la cual se establece el régimen de servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones
Ley 689 de 2001	Por la cual se modifica parcialmente la Ley 142 de 1994
Ley 373 de 1997	Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua.
Ley 1176 de 2007	Por la cual se desarrollan los artículos 356 y 357 de la Constitución Política y se dictan otras disposiciones.

RAS. Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales Domésticas y Aguas Lluvias

Norma	Título
Decreto-ley 028 de 2008	Por medio del cual se define la estrategia de monitoreo, seguimiento y control integral al gasto que se realice con recursos del Sistema General de Participaciones
Decreto 1541 de 1978 y sus modificaciones	Por el cual se reglamenta la Parte III del Libro II del Decreto-Ley 2811 de 1974: "De las aguas no marítimas" y parcialmente la Ley 23 de 1973.
Decreto 155 de 2004 y sus modificaciones	Por el cual se reglamenta el artículo 43 de la Ley 99 de 1993 sobre tasas por utilización de aguas y se adoptan otras disposiciones.
Decreto 3100 de 2003 y su modificatorio el Decreto 3440 de 2004	Por el cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa del agua como receptor de vertimientos puntuales y se toman otras determinaciones.
Resolución 240 de 2004	Por la cual se definen las bases para el calculo de la depreciación y se establece la tarifa mínima de la tasa por utilización del agua
Decreto 1729 de 2002	Por el cual se reglamenta la parte XIII, Título 2, capítulo III del Decreto ley 2811 de 1974 sobre cuencas hidrográficas parcialmente el numeral 12 del artículo 5 de la Ley 99 de 1993 y se dictan otras disposiciones.
Resolución 1443 de 2004 y sus modificaciones	Por la cual se reglamenta el artículo 12 del Decreto 3100 de 2003 sobre Planes de Saneamiento y Manejo de vertimientos.
Decreto 2820 de 2010	Por el cual se reglamenta el Título X de la Ley 99 de 1993 sobre Licencias Ambientales
Decreto 1900 de 2006	Por el cual se reglamenta el parágrafo del artículo 43 de la Ley 99 de 1993 y se toman otras determinaciones.
Resolución 372 de 1998	Por la cual se actualizan las tarifas mínimas de las tasas retributivas por vertimientos líquidos y se dictan otras disposiciones
Decreto 1323 de 2007	Por el cual se crea el Sistema de Información del Recurso Hídrico, SIRH.
Decreto 1324 de 2007	Por el cual se crea el Registro de Usuarios del Recurso Hídrico y se dictan otras disposiciones.
Decreto 1594 de 1984	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III - Libro II y el Título III de la parte III - Libro I - del Decreto 2811 de 1974 en cuanto a Usos del Agua y Residuos Líquidos
Decreto 3930 de 2010 y su modificatorio el Decreto 4728 de 2010	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III - Libro II del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones – Modifica parcialmente el Decreto 1594 de 1984
Resolución 75 de 2011	Por la cual se adopta el formato de reporte sobre el estado de cumplimiento de la norma de vertimiento puntual al alcantarillado público.

Norma	Título
Resolución Minambiente 631 de 2015	Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones

Tabla D.0.2. Normas relacionadas con el ordenamiento territorial

Norma	Título
Ley 388 de 1997 y sus modificaciones	Por la cual se modifica la Ley 9ª de 1989, y la Ley 3ª de 1991 y se dictan otras disposiciones
Ley 400 de 1997	Por la cual se adoptan normas sobre Construcciones Sismo Resistentes
Ley 1229 de 2008	Por la cual se modifica y adiciona la Ley 400 del 19 de agosto de 1997
Decreto 926 de 2010	Por el cual se establecen los requisitos de carácter técnico y científico para construcciones sismo resistentes NSR-10
Decreto 92 de 2011	Por el cual se modifica el Decreto 926 de 2010.
Decreto 1504 de 1998	Por el cual se reglamenta el manejo del espacio público en los planes de ordenamiento territorial
Decreto 1469 de 2010	Por el cual se reglamentan las disposiciones relativas a las licencias urbanísticas; al reconocimiento de edificaciones; a la función pública que desempeñan los curadores urbanos y se expiden otras disposiciones
Decreto 3600 de 2007	Por el cual se reglamentan las disposiciones de las Leyes 99 de 1993 y 388 de 1997 relativas a las determinantes de ordenamiento del suelo rural y al desarrollo de actuaciones urbanísticas de parcelación y edificación en este tipo de suelo y se adoptan otras disposiciones.
Decreto 926 de 2010 y sus modificaciones	Por el cual se establecen los requisitos de carácter técnico y científico para construcciones sismo resistentes NSR-10"

Tabla D.0.3. Normas relacionadas con el servicio público domiciliario de alcantarillado

Norma	Título
Ley 142 de 1994 y sus modificatorios	Por la cual se establece el régimen jurídico de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones

Norma	Título
Decreto 302 de 2000 y su modificatorio el Decreto 229 de 2002	Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, en materia de prestación de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado.
Decreto 1575 de 2007 y sus resoluciones reglamentarias 2115 de 2007, 811 de 2008, 82 de 2009 y 4716 de 2010	Por el cual se establece el Sistema para la protección y control del agua para el consumo humano
Resolución 1096 de 2000 y sus modificaciones Resolución 424 de 2001, 668 de 2003, 1447 y 1459 de 2005 y 2320 de 2009	Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico.
Resolución CRA 151 de 2001 y sus modificaciones	Regulación integral de los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo.
Resolución MAVDT 1166 de 2006 y sus modificatorias	Por la cual se expide el Reglamento Técnico que señala los requisitos técnicos que deben cumplir los tubos de acueducto, alcantarillado, los de uso sanitario y los de aguas lluvias y sus accesorios que adquieran las personas prestadoras de los servicios de acueducto y alcantarillado.
Resolución MAVDT 813 de 2008	Por la cual se adopta la guía de acceso, elegibilidad, presentación y viabilización de proyectos del sector de agua potable y saneamiento básico

Tabla D.0.4. Normas sobre gestión de riesgo

Norma	Título
Ley 46 de 1988	Por la cual se organiza el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres y se dictan otras disposiciones
Decreto 919 de 1989	Organiza el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres y se dictan otras disposiciones
Decreto 93 de 1998	Adopta el Plan Nacional para la Prevención y Atención de Desastres
Ley 872 de 2003	Crea el sistema de gestión de calidad en la Rama Ejecutiva del poder público y entidades prestadoras de servicios
Decreto 1599 de 2005	Adopción del Modelo Estándar de Control Interno MECI

D.0.5 DEFINICIONES

Para interpretar y aplicar el presente Título deben tenerse en cuenta las siguientes definiciones:

Accesorio Elemento componente de un sistema de tuberías, diferente de las tuberías en sí, tales como uniones, codos, tees, etc.

Acometida de alcantarillado Derivación que parte de la caja de inspección domiciliaria y llega hasta la red pública de alcantarillado.

Acometida múltiple Derivación que transporta las aguas residuales de múltiples suscriptores, que va de la caja de inspección domiciliaria y llega hasta la red pública de alcantarillado.

Aguas abajo En hidráulica, hace referencia a la zona posterior a un volumen de control, en la dirección del flujo.

Aguas arriba En hidráulica, hace referencia a la zona anterior a un volumen de control, en la dirección del flujo.

Aguas de infiltración Aguas provenientes del subsuelo, indeseables para el sistema separado y que penetran en el alcantarillado.

Aguas lluvias Aguas provenientes de la precipitación pluvial.

Aguas residuales Desechos líquidos provenientes de residencias, edificios, locales comerciales, instituciones, fábricas o industrias.

Aguas residuales comerciales Desechos líquidos provenientes de la actividad comercial en las zonas urbanas de municipios y localidades.

Aguas residuales industriales Desechos líquidos provenientes de las actividades industriales.

Aguas residuales domésticas – ARD: Son las procedentes de los hogares, así como las de las instalaciones en las cuales se desarrollan actividades industriales, comerciales o de servicios y que correspondan a:

1. Descargas de los retretes y servicios sanitarios.
2. Descargas de los sistemas de aseo personal (duchas y lavamanos), de las áreas de cocinas y cocinetas, de las pocetas de lavado de elementos de aseo y lavado de paredes y pisos y del lavado de ropa (no se incluyen las de los servicios de lavandería industrial).

Aguas residuales no domésticas – ArnD: Son las procedentes de las actividades industriales, comerciales o de servicios distintas a las que constituyen aguas residuales domésticas – ARD.

Aireación Proceso en el que se produce un contacto entre el aire y el agua con el objetivo de oxigenarla o de excluir gases o sustancias volátiles.

Alcantarillado Conjunto de obras para la recolección, conducción, tratamiento y disposición final de las aguas residuales o de las aguas lluvias.

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.

Alcantarillado de aguas lluvias Sistema compuesto por todas las instalaciones destinadas a la recolección transporte, tratamiento y disposición final de aguas lluvias.

Alcantarillado de aguas residuales Sistema compuesto por todas las instalaciones destinadas a la recolección transporte, tratamiento y disposición final de las aguas residuales domésticas y/o industriales.

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

Algoritmos genéticos Algoritmos de evolución que someten a los individuos a acciones aleatorias y de selección tal y como ocurren en la evolución biológica. Se aplica para buscar soluciones a problemas complejos, especialmente de optimización combinatoria.

Aliviadero Estructura diseñada en sistemas combinados, con el propósito de separar los caudales que exceden la capacidad del sistema y conducirlos a un sistema de drenaje de agua lluvia.

Altimetría Es la parte de la topografía que estudia y determina las diferencias de nivel y las formas (morfología) del terreno.

Altura de velocidad Altura teórica a la que una partícula líquida puede elevarse debido a su energía cinética.

Altura dinámica total Energía suministrada por una bomba a un flujo en tuberías, expresada en términos de altura. Se obtiene a partir de la suma de la altura estática en la succión, de las pérdidas de energía por fricción, de las pérdidas menores en la succión y en la impulsión, y de la presión requerida al final de la línea de impulsión.

Ampliación Programa que contiene los proyectos de redes nuevas de aguas lluvias, aguas residuales o combinadas a construir en un área ya desarrollada, que posibilite la vinculación de nuevos clientes.

Análisis de vulnerabilidad Estudio que permite evaluar los riesgos a que están expuestos los distintos componentes de un sistema de alcantarillado.

Anclaje Apoyo que soporta los empujes ocasionados por el cambio de dirección en una tubería sometida a presión interna.

Apique Excavación simple y poco profunda con el fin de identificar las características del subsuelo y del suelo (Conocida igualmente como Calicata).

Área tributaria Superficie que drena hacia un tramo o punto determinado.

Arrastre Transporte de sedimentos debido a la acción del agua en un canal o área de drenaje.

Asentamiento hundimiento o descenso del nivel de una estructura debido a la consolidación, deformación o pérdida del suelo o roca de cimentación.

Autoridad ambiental competente Para efectos del presente documento, se consideran como autoridades ambientales competentes, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, las Corporaciones Autónomas Regionales, Corporaciones de Desarrollo Sostenible, los municipios, distritos o áreas metropolitanas cuya población urbana fuere igual o superior a un millón de habitantes (1.000.000) y las Autoridades Ambientales Distritales a que se refiere la Ley 768 de 2002.

Banco maestro o banco de nivel (BM) En topografía se refiere a aquellos puntos de cota o nivel conocidos que se usan como referencia.

Base de datos Conjunto de información que se almacena bajo esquemas particulares para su posterior consulta y análisis.

Box-Culvert Conducto de sección rectangular cerrada de concreto reforzado para recoger y evacuar las aguas lluvias y/o residuales.

Caída de fondo Diferencia en metros entre la energía específica de entrada en una cámara de conexión y/o inspección y la energía de salida.

Caída libre Se presenta cuando el flujo de agua sufre una discontinuidad en el fondo en un canal plano.

Caja de empalme a la red Caja ubicada al inicio de la acometida de alcantarillado que recoge las aguas residuales, lluvias o combinadas, de un inmueble, con sus respectivas tapas removibles y en lo posible ubicadas en zonas libres de tráfico vehicular.

Caja de inspección domiciliaria Cámara localizada en el límite de la red pública de alcantarillado y la privada, que recoge las aguas residuales, lluvias o combinadas provenientes de un inmueble.

Caja de paso Cámara sin acceso, localizada en puntos singulares por necesidad constructiva.

Calibración del modelo hidráulico Consiste en la modificación de parámetros del modelo matemático de la red. Esta modificación se realiza con el fin de mejorar la semejanza entre el modelo hidráulico y la red existente en campo. La calibración proporciona las variables óptimas de tal forma que mejoren el modelo tanto como sea posible.

Calidad del agua residual Conjunto de características físicas, químicas y microbiológicas propias del agua residual.

Cámara de caída Estructura utilizada para dar continuidad al flujo cuando una tubería llega a una altura considerable respecto de la tubería de salida.

Cámara de inspección Estructura de forma usualmente cilíndrica, que remata generalmente en su parte superior en forma tronco-cónica, y con tapa removible para permitir la ventilación, el acceso y el mantenimiento de las redes de alcantarillado.

Cámara de succión Depósito de almacenamiento de agua en el cual se encuentra la tubería de succión.

Canal Cauce artificial, revestido o no, que se construye para conducir las aguas lluvias hasta su entrega final en un cauce natural.

Canal prismático Canal con sección transversal constante; la sección transversal no cambia a lo largo del recorrido.

Canalizar Acción y efecto de construir canales para regular un cauce o corriente de un río o arroyo.

Cañuela Parte interior de una estructura de conexión o cámara de inspección, cuya forma orienta el flujo. Puede utilizarse en la cámara de unión o inspección a media banca cuando cubre la mitad de la altura de los conductos entrantes o a banca llena cuando cubre una altura mayor o igual que la altura de los conductos entrantes.

Capacidad de asimilación y dilución. Capacidad de un cuerpo de agua para aceptar y degradar sustancias, elementos o formas de energía, a través de procesos naturales, físicos químicos o biológicos sin que se afecten los criterios de calidad e impidan los usos asignados.

Capacidad hidráulica Caudal que puede manejar un componente o una estructura hidráulica conservando sus condiciones normales de operación.

Caracterización de las aguas residuales Determinación de la cantidad y características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales.

Carcasa Cámara o caja protectora de la estructura interna de una bomba.

Casco urbano Se refiere a la zona urbana o metropolitana de un municipio o ciudad.

Catastro de red Sistema de registro y archivo de información técnica estandarizada y relacionada con todos los detalles técnicos de ubicación de tuberías, diámetros, pendientes, cámaras de inspección, cámaras de caída, sumideros, aliviaderos y todo accesorio de la red.

Caudal Cantidad de fluido que pasa por determinado elemento en la unidad de tiempo.

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

Caudal de saturación Caudal que corresponde a las condiciones máximas de desarrollo.

Cavitación Proceso dinámico de formación de burbujas dentro del líquido, su crecimiento y subsecuente colapso a medida que el líquido fluye a través de la bomba.

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

Coefficiente de fricción Coeficiente que representa el efecto de la fricción entre el flujo y la pared del canal o ducto, que depende de la rugosidad relativa de la tubería o canal y el número de Reynolds.

Coefficiente de pérdida menor Medida de las pérdidas de energía que se producen por el paso del flujo en un accesorio o estructura, y que es factor de la altura piezométrica de velocidad.

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

Coefficiente de rugosidad Medida de la rugosidad de una superficie, que depende del material y del estado de la superficie interna de una tubería.

Colector principal o matriz Conducto cerrado circular, semicircular, rectangular, entre otros, sin conexiones domiciliarias directas que recibe los caudales de los tramos secundarios, siguiendo líneas directas de evacuación de un determinado sector.

Conducto Estructura hidráulica destinada al transporte de agua.

Condulines o Conduletes Plásticos, tubos y curvas de policloruro de vinilo, PVC-U y polietileno, para alojar y proteger conductores eléctricos aislados.

Conexión domiciliaria Tubería que transporta las aguas residuales y/o las aguas lluvias desde la caja domiciliaria hasta un tramo secundario. Generalmente son de 150 mm de diámetro para vivienda unifamiliar.

Conexiones erradas Contribución adicional de caudal debido al aporte de aguas lluvias en la red de aguas sanitarias y viceversa.

Consumo Volumen de agua potable recibido por el usuario en un periodo determinado.

Contracción Reducción en el ancho de sección transversal de un ducto o accesorio.

Control de flujo Establecimiento de una condición definitiva de flujo en un canal o, más específicamente, una relación definitiva entre el nivel y el caudal.

Control en tiempo real Práctica que busca conocer el comportamiento hidráulico de una red de alcantarillado, en cada instante del tiempo, por medio de una serie de instrumentación y control remoto de sus componentes.

Corrosión Deterioro de un material metálico a consecuencia de un ataque químico por su entorno.

Corrosión electrolítica Es producida por el flujo de corriente alterna o continua a través del mismo metal con que está construida la tubería.

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

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

Cresta Punto más elevado de una estructura de rebose.

Cuenca sanitaria Área asociada con una cámara que agrupa el conjunto de redes de aguas residuales y combinadas que drenan hacia ella.

Cuerpo receptor Cualquier masa de agua natural o de suelo que recibe la descarga del afluente final.

Cuna Estructura base que soporta una tubería instalada en una zanja.

Cuneta Canal de sección triangular ubicado entre el sardinel y la calzada de una calle, destinado a conducir las aguas lluvias hacia los sumideros.

Curvas características Curvas que definen el comportamiento de una bomba mostrando el rango de caudales de operación contra la altura dinámica total, la potencia consumida, la eficiencia y la altura neta de succión positiva.

Data logger Sistema de adquisición de datos que almacena la información de uno o más sensores externos.

DBO Demanda bioquímica de oxígeno la cual representa la cantidad de oxígeno consumido por los microorganismos aerobios para asegurar la descomposición de la materia orgánica contenida en el agua que se analizará.

Densidad Masa por unidad de volumen de un fluido.

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

Desarenador Componente destinado a la remoción de las arenas y sólidos que están en suspensión en el agua, mediante un proceso de sedimentación mecánica.

Diámetro real: Diámetro interno de una tubería determinado con elementos apropiados.

Diámetro nominal Es el número con el cual se designa comercialmente el diámetro interno o externo de un tubo o accesorio, aun cuando su valor no coincida con el diámetro real.

DQO Demanda química de oxígeno la cual representa la cantidad necesaria de oxígeno para la oxidación química de la materia orgánica en CO_2 y H_2O .

Drenaje Estructura destinada a la evacuación de aguas subterráneas o superficiales para evitar daños a las estructuras, los terrenos o las excavaciones.

Ecuación de la bomba Ecuación que representa el comportamiento hidráulico de una bomba y que relaciona el caudal bombeado con la altura de presión.

Ecuación del sistema Ecuación que relaciona las pérdidas por fricción, las pérdidas menores, la altura topográfica y la altura dinámica total entre dos puntos conectados por un sistema de bomba y tubería.

Emisario final Colectores cerrados que llevan parte o la totalidad de las aguas lluvias, sanitarias o combinadas de una localidad hasta el sitio de vertimiento o a las plantas de tratamiento de aguas residuales. En el caso de aguas lluvias pueden ser colectores a cielo abierto.

Escorrentía Volumen que llega a la corriente poco después de comenzada la lluvia.

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

Estación de bombeo de aguas residuales Componente de un sistema de alcantarillado de aguas residuales o combinado utilizado para evacuar por bombeo las aguas residuales de las zonas bajas de una población. Lo anterior puede también lograrse con estaciones elevadoras de aguas residuales. Una definición similar es aplicable a estaciones de bombeo de aguas lluvias.

Estructura de conexión y/o 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, y en muchos casos la inspección y limpieza de la red.

Estructura de separación de caudales (ver Aliviadero)

Estructuras complementarias Son todas aquellas estructuras especiales diferentes a las tuberías fluyendo parcialmente llenas que hacen parte de un sistema de alcantarillado.

Estructuras de disipación de energía Estructuras construidas para minimizar el riesgo de erosión en los sitios de descarga y en algunos puntos localizados de los sistemas de alcantarillado y drenaje urbano, cuyo principio de operación es generar una pérdida de energía en un espacio controlado.

Estructuras de entrega Estructuras utilizadas para evitar daños e inestabilidad en el cuerpo de agua receptor de aguas lluvias o residuales.

Exfiltración Salida de agua del sistema de alcantarillado debido a problemas de estanqueidad en los componentes del sistema.

Expansión Ampliación en la sección transversal en una red de alcantarillado, donde se estima la diferencia de velocidades entre los extremos de la transición.

Expansión del sistema Programa que contiene los proyectos de aguas lluvias, aguas residuales o combinadas a ejecutar en una nueva área de desarrollo con el fin de vincular nuevos clientes.

Falla geológica Es una discontinuidad que se forma en las rocas superficiales de la Tierra por fractura, cuando las fuerzas tectónicas superan la resistencia de las rocas.

Flujo a presión Aquel transporte en el cual el agua ocupa todo el interior del conducto, quedando sometida a una presión superior a la atmosférica.

Flujo crítico Estado de flujo en el cual la energía específica es la mínima para un caudal determinado.

Flujo cuasicrítico Estado de flujo en el cual la energía específica se acerca a su valor mínimo para un caudal determinado.

Flujo gradualmente variado Flujo permanente cuya profundidad y velocidad varían de manera gradual a lo largo de la longitud del canal.

Flujo libre Aquel transporte en el cual el agua presenta una superficie libre donde la presión es igual a la presión atmosférica.

Flujo no permanente El flujo en un canal abierto es no permanente si la profundidad y la velocidad del flujo cambian durante el intervalo de tiempo en consideración.

Flujo subcrítico Flujo en el cual las fuerzas gravitacionales son más importantes que las fuerzas inerciales.

Flujo supercrítico Flujo en el cual las fuerzas inerciales son más importantes que las fuerzas gravitacionales.

Flujo turbulento Se presenta cuando las fuerzas viscosas son débiles en relación con las fuerzas inerciales. Las partículas se mueven con trayectorias irregulares, que no son suaves ni fijas, pero que en conjunto todavía representan el movimiento hacia adelante de la corriente entera.

Flujo turbulento hidráulicamente liso Flujo en el cual la altura de rugosidad es bastante menor que el espesor de la capa límite viscosa.

Flujo turbulento hidráulicamente rugoso Flujo en el cual la altura de rugosidad es bastante mayor que el espesor de la capa límite viscosa.

Flujo uniforme Flujo en el cual la profundidad del agua es la misma en cada sección de un canal.

Fotogeología Parte de la geología que se especializa en el estudio de las superficies de cuerpos planetarios a través de imágenes por satélite.

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

Georreferenciación Acción de ubicar uno o varios puntos a partir de un grupo de puntos previamente localizados.

Gestión del riesgo La gestión de riesgos es un enfoque estructurado para manejar la incertidumbre relativa a una amenaza, a través de una secuencia de actividades humanas que incluyen evaluación de riesgo, estrategias de desarrollo para manejarlo y mitigación del riesgo utilizando recursos gerenciales. Las estrategias incluyen transferir el riesgo a otra parte, evadir el riesgo, reducir los efectos negativos del riesgo y aceptar algunas o todas las consecuencias de un riesgo particular.

Golpe de ariete Fenómeno hidráulico de tipo dinámico oscilatorio, causado por la interrupción violenta del flujo en una tubería, bien sea por el cierre rápido de una válvula o por el apagado del sistema de bombeo u otras razones hidráulicas, que da lugar a la transformación de la energía cinética en energía elástica, tanto en el flujo como en la tubería, produciendo sobre elevación de la presión, subpresiones y cambios en el sentido de la velocidad del flujo.

Hermeticidad Capacidad que tiene una estructura de evitar la salida del agua.

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

Hincado de tuberías Técnica de instalación de tuberías que se basa en clavar y/o apoyar las tuberías en el terreno donde van a ser instaladas, en una especie de perforación del suelo.

Índice de agua no contabilizada Indicador porcentual que relaciona el volumen total de agua que se suministra a las redes con el volumen total de agua que se factura a los clientes de éstas, en un período determinado.

Infiltración Proceso por el cual el agua penetra en el suelo y/o en las estructuras que hacen parte de un sistema de alcantarillado.

Instalación interna Conjunto de tuberías y accesorios que recogen y conducen las aguas residuales y/o lluvias de las edificaciones hasta la caja de inspección domiciliaria.

Inteligencia artificial Es la inteligencia que exhiben implementos tecnológicos creados por el hombre y que busca emular el comportamiento y raciocinio de la especie humana.

Intensidad de precipitación Cantidad de agua lluvia caída sobre una superficie durante un tiempo determinado.

Interceptor Conducto cerrado que recibe las afluencias de los colectores, y usualmente se construye paralelamente al cuerpo receptor principal, con el fin de evitar el vertimiento de las aguas residuales a éste, y llevar las aguas a las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR).

Interferencia Perturbación generada por el cruce de una red de alcantarillado con algún tipo de obstáculo.

Interventoría Son todas aquellas actividades que buscan el cumplimiento en la ejecución de las obras, la mitigación de impactos negativos generados y el mejoramiento de la calidad de vida en lo referente a proyectos de saneamiento ambiental y de agua potable.

Licencia ambiental Es la autorización que otorga la autoridad ambiental competente para la ejecución de una obra o actividad, sujeta al cumplimiento por el beneficiario de la licencia de los requisitos que la misma establezca en relación con la prevención, mitigación, corrección, compensación y manejo de los efectos ambientales de la obra o actividad autorizada. Lo anterior en los términos del artículo 52 de la Ley 99 de 1993, o la norma que lo modifique o sustituya.

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.

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

Línea piezométrica Línea o elevación obtenida de la suma de la altura de presión y la diferencia de altura topográfica respecto a un *datum* o nivel de referencia.

Localidad Para efectos del presente documento, es una división territorial y administrativa genérica para cualquier núcleo de población con identidad propia.

Lógica difusa Consiste en sistemas lógicos que admiten varios valores de verdad posibles, cuantificando la incertidumbre en más de dos valores como lo hace la lógica clásica.

Microzonificación sísmica Zonas de suelos con comportamiento similar durante un sismo.

Modelo hidráulico Formulación idealizada que representa la respuesta de un sistema hidráulico a estímulos externos.

Nivel de complejidad del sistema Rango en el cual se clasifica un proyecto de recolección de aguas residuales y/o lluvias el cual depende del número de habitantes en el centro poblado en estudio, su capacidad económica o el grado de exigencia técnica que se requiera.

Nivel freático Profundidad de la superficie de un acuífero libre con respecto a la superficie del terreno.

NPSH (Del inglés *Net Positive Suction Head*). Presión necesaria para mover un fluido desde la cámara de succión hasta el impulsor de la bomba.

Número de Froude Relación entre las fuerzas inerciales y las fuerzas gravitacionales, que representa el efecto de la gravedad sobre el estado de flujo.

Onda de presión Onda generada en el flujo de agua que viaja en una tubería a presión, debido al fenómeno de golpe de ariete.

Optimización Programa que contiene las inversiones en la infraestructura existente de las redes de aguas lluvias, aguas residuales o combinadas para mejorar la recolección, el transporte y el funcionamiento de las redes.

Paramento Es la línea que determina el límite de construcción permitida en una obra.

Pared interna de la tubería Zona de contacto entre la tubería y el flujo que pasa a través de ella y que genera las pérdidas de energía debido a la fricción.

Pendiente Inclinación longitudinal de una tubería, canal o conducto.

Pérdidas menores Pérdida de energía causada por accesorios o válvulas en una conducción de agua.

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.

Período de diseño Tiempo para el cual se diseñan un sistema o los componentes de éste, en el cual su(s) capacidad(es) permite(n) atender la demanda proyectada para este tiempo.

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

Persona prestadora del servicio Son aquellas personas prestadoras que, acorde con la Ley 142 de 1994, prestan el servicio de alcantarillado.

Plan maestro de alcantarillado Plan de ordenamiento del sistema de alcantarillado de una localidad para un horizonte de planeamiento dado.

Planimetría Estudia los elementos planimétricos del terreno, entendiéndose por ellos todos los elementos naturales y artificiales del mismo que forman su revestimiento, como por ejemplo: ríos, casas, caminos, etc., y los expresa por medio de figuras convencionales (cartográficas).

Población de diseño Población que se espera atender por el proyecto, considerando el índice de cubrimiento, el crecimiento y la proyección de la demanda para el período de diseño.

Población migratoria Número de habitantes que han abandonado la zona donde están registrados para buscar trabajo y vivienda en otro sitio.

Población servida Número de habitantes que son servidos por un sistema de recolección y evacuación de aguas residuales.

Pozo de succión Tanque o estructura dentro de la cual las aguas residuales, lluvias o combinadas son extraídas por bombeo.

Polutograma Gráfico que muestra la variación en el tiempo de la concentración de algún contaminante.

Plan de ordenamiento territorial Conjunto de objetivos, directrices, políticas, estrategias, metas, programas, actuaciones y normas adoptadas para orientar y administrar el desarrollo físico del territorio y la utilización del suelo.

Precipitación Cantidad de agua lluvia caída en una superficie durante un tiempo determinado.

Precisión Es el grado de exactitud con respecto a una medida.

Presión atmosférica Presión del aire sobre la superficie terrestre.

Presión de vapor Presión a la que a cada temperatura, las fases líquida y gaseosa de un líquido se encuentran en equilibrio.

Profundidad crítica Profundidad del agua que corresponde al estado crítico para un caudal determinado.

Profundidad del tramo Diferencia de nivel entre la superficie del terreno o la rasante de la calle y la cota clave del colector.

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

Protocolo de pruebas Serie de pruebas y mediciones de campo con el fin de comparar el comportamiento hidráulico establecido en el diseño con lo construido en campo.

PTAR Planta de tratamiento de aguas residuales.

Radio hidráulico Relación entre el área mojada y el perímetro mojado de una sección transversal de un ducto.

Rápida Canal abierto de alta pendiente.

Recubrimiento Aplicación sobre la superficie externa de un material con el fin de protegerlo contra la corrosión, erosión, etc.

Red local de alcantarillado Conjunto de tuberías y canales que conforman el sistema de evacuación de las aguas residuales, pluviales o combinadas de una comunidad, y al cual desembocan las acometidas del alcantarillado de los inmuebles.

Red pública de alcantarillado Conjunto de colectores domiciliarios y matrices que conforman el sistema de alcantarillado.

Red secundaria de alcantarillado Conjunto de tuberías que reciben contribuciones de aguas domiciliarias en cualquier punto a lo largo de su longitud.

Redes privadas de alcantarillado Son aquellas redes que están dentro de las urbanizaciones cerradas cuya operación y mantenimiento es responsabilidad de los copropietarios.

Reemplazo de redes Programa que contiene los proyectos de construcción de redes de aguas lluvias, aguas residuales o combinadas para reponer las existentes por cumplimiento de su vida útil.

Rejilla Dispositivo instalado en una captación para impedir el paso de elementos flotantes o sólidos grandes.

Relé Es un dispositivo electromecánico, que funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de una bobina y un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes.

Resalto hidráulico Fenómeno hidráulico en el cual se presenta un cambio abrupto de régimen de flujo, se pasa de una corriente rápida y con profundidad baja (flujo supercrítico) a una corriente lenta y profunda (flujo subcrítico).

Reservorio Área natural o artificial, sostenida y usada para almacenar agua.

Reservorio para infiltración Sistema de captura de aguas residuales y lluvias de los desagües o escurrimientos superficiales en un área determinada y su posterior infiltración al terreno o suelo.

Reservorio para acumulación o almacenaje Sistema que captura las aguas residuales y lluvias por un determinado tiempo y su liberación posterior al ambiente de forma controlada.

Retiro Es el ancho mínimo a cada lado de una tubería, que se debe dejar para permitir en forma cómoda realizar las tareas de inspección y mantenimiento.

Revestimiento Aplicación sobre la superficie interna de un material con el fin de protegerlo contra la corrosión, erosión, etc.

Riesgo Potenciales consecuencias económicas, sociales o ambientales que se pueden generar como resultado de los daños o la pérdida de función de un sistema durante un tiempo de exposición definido. Se expresa matemáticamente, como la probabilidad de exceder una pérdida en un sitio y durante un lapso determinado, resultado de relacionar la vulnerabilidad del sistema y la amenaza a la cual se encuentra sometido.

Rugosidad absoluta Ver Coeficiente de rugosidad.

SCADA (Del Inglés *Supervisory Control And Data Acquisition*). Sistema que permite a un operador desde una ubicación remota visualizar medidas en tiempo real y controlar la operación de elementos de un sistema de distribución de agua potable.

Sedimentación Proceso mediante el cual los sólidos suspendidos en el agua se decantan por gravedad.

Sello hidráulico Volumen de agua retenido en la cámara del sumidero con el cual se impide la salida de gases y malos olores de la red del drenaje.

Sifón invertido Estructura compuesta por una o más tuberías que funcionan a presión. Se utilizan cuando es necesario pasar las tuberías por debajo de obstáculos inevitables.

SIG Sistema de información geográfico. Permite relacionar una base de datos que esté georreferenciada, y así poder generar mapas de acuerdo con la información disponible dentro del proyecto. Determina de una manera rápida y eficaz, los planos de tuberías de acuerdo con la rugosidad, edad, diámetro, o caudal según se requiera, al igual que las cámaras de inspección. Así mismo permite generar planos de estratificación de usuarios de una manera ágil.

Sistema experto Son programas de computador que se especializan en una rama determinada del conocimiento; utilizan inteligencia artificial para poder decidir sobre el problema que se les plantea y a la vez tienen la capacidad de aprender.

Sistema de alcantarillado Conjunto de elementos y estructuras cuya función es la recolección, conducción y evacuación hacia las plantas de tratamiento y/o cuerpos receptores de agua, de las aguas residuales y/o lluvias producidas en una ciudad o municipio. También se incluyen las obras requeridas para el transporte, tratamiento y disposición final de estas aguas.

SST Sólidos suspendidos totales presentes en una muestra de agua.

Sumergencia Acción de estar inmerso en agua relacionada con sistemas de tubería-bomba.

Sumidero Estructura diseñada y construida para cumplir con el propósito de captar las aguas de escorrentía que corren por las cunetas de las calzadas de las vías para entregarlas a las estructuras de conexión o cámaras de inspección de los alcantarillados combinados o de lluvias.

Suscriptor Corresponde al usuario que se encuentra actualmente registrado en la base de datos de cada uno de los municipios en los que opera una persona prestadora del servicio público de alcantarillado; también se conoce como cliente o póliza.

Tecnologías de información Término que agrupa todo lo relacionado con la computación, programas, comunicaciones y equipos que sirven para administrar y analizar las grandes cantidades de información que el mundo moderno usa a diario.

Tecnologías sin zanja Técnica de instalación de tuberías sin apertura de zanjas que afecten la superficie del terreno.

Tipo de usuario Diferentes clases de usuarios que pueden existir a saber: residenciales, industriales, comerciales, institucionales y otros.

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.

Topología Es toda aquella información que define el recorrido y la distribución de una red de tuberías.

Tramos iniciales Tramos de colectores domiciliarios que dan comienzo al sistema de alcantarillado.

Tramo principal o colector principal Estructura encargada de recolectar y transportar aguas residuales y/o lluvias, provenientes de las redes secundarias, usualmente paralelos a quebradas.

Tubería o tubos Conducto prefabricado, o construido en sitio, de concreto, concreto reforzado, plástico, polietileno de alta densidad, asbesto-cemento, hierro fundido, gres vitrificado, PVC, plástico con refuerzo de fibra de vidrio, metal corrugado u otro material cuya tecnología y proceso de fabricación cumplan con las normas técnicas correspondientes. Por lo general su sección es circular.

Tubería de impulsión Tubería de salida de un equipo de bombeo.

Tubería de succión Tubería de entrada a un equipo de bombeo.

Tubería flexible Aquella cuyos materiales derivan su capacidad de carga ante las cargas del terreno a partir de la interacción de la tubería flexible y del suelo circundante el cual trabaja por la deflexión de la tubería hasta el punto de equilibrio bajo carga.

Tubería rígida Aquella cuyos materiales derivan una parte substancial de su capacidad de carga ante las cargas del terreno a partir de la resistencia estructural del elemento asociada a la rigidez misma de la pared de la tubería.

RAS. Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales Domésticas y Aguas Lluvias

Usuario Persona natural o jurídica que se beneficia con la prestación de un servicio público, bien como propietario del inmueble en donde éste se presta, o como receptor directo del servicio. A este último usuario se le conoce también como consumidor. (Ley 142 de 1994)

Vertimiento Descarga final a un cuerpo de agua, a un alcantarillado o al suelo, de elementos, sustancias o compuestos contenidos en un medio líquido.

Vida útil Tiempo estimado para la duración de un equipo o componente de un sistema sin que sea necesaria la sustitución del mismo; en este tiempo solo se requieren labores de mantenimiento para su adecuado funcionamiento.

Viscosidad absoluta La viscosidad absoluta es una propiedad de los fluidos que indica la mayor o menor resistencia que estos ofrecen al movimiento de sus partículas cuando son sometidos a un esfuerzo cortante.

Volumen útil del pozo de succión Volumen del pozo de succión, comprendido entre el nivel máximo y el nivel mínimo de operación de bombeo.

Vulnerabilidad Predisposición intrínseca de los sistemas de alcantarillado de ser afectados o de ser susceptibles a sufrir daños o pérdida de su función, como resultado de la ocurrencia de un evento que caracteriza una amenaza.

CAPÍTULO D.1

D.1. ASPECTOS GENERALES DE LOS SISTEMAS DE RECOLECCIÓN, TRANSPORTE Y MANEJO DE AGUAS RESIDUALES Y/O LLUVIAS

D.1.1 ALCANCE

En el presente título se establecen las condiciones requeridas para la concepción y el desarrollo de sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales y lluvias, considerados como convencionales. Así mismo se orientan la planificación, el diseño, la construcción, la supervisión técnica, la operación, el mantenimiento y el seguimiento de la operación de estos sistemas y sus componentes.

Las disposiciones dadas en este título como prácticas de buena ingeniería desde las etapas de conceptualización, diseño, construcción, puesta en marcha, operación, mantenimiento y seguimiento de todas y cada una de las obras, tienen como objetivo garantizar su efectividad, seguridad, estabilidad, durabilidad, operación adecuada, sostenibilidad y redundancia a lo largo de la vida útil del sistema de alcantarillado.

Todas las prescripciones establecidas en este título deben ser aplicadas en los **sistemas** de todos los **niveles de complejidad**, a menos que se especifique lo contrario.

En el presente título se incluyen lineamientos para los elementos que conforman los alcantarillados de aguas residuales, lluvias y combinados como sistemas de recolección, manejo y evacuación de aguas residuales y/o lluvias, sus diferentes componentes y estaciones de bombeo. No se incluyen los sistemas de tratamiento de aguas residuales, cuyos diseños, construcción, puesta en marcha, operación y mantenimiento son tratados en el Título E del RAS: "*Tratamiento de Aguas Residuales*". Los lineamientos establecidos a continuación se encuentran enmarcados en los Objetivos de Desarrollo del Milenio definidos en la Cumbre del Milenio de las Naciones Unidas en Nueva York en el año 2000¹.

D.1.2 INTEGRALIDAD DEL DRENAJE URBANO

Este título concierne a los sistemas de recolección, transporte y manejo de aguas residuales y/o lluvias se enmarca dentro del concepto moderno de la **integralidad del drenaje urbano**. Este concepto implica la integración en cuanto a cantidad y calidad de agua de todas las partes que conforman el sistema de drenaje o recolección y evacuación de aguas residuales y/o lluvias de una ciudad actual. Estas partes son: el sistema de redes de alcantarillado, la(s) planta(s) de tratamiento de aguas residuales (PTAR) y el cuerpo receptor de aguas.

La primera de estas partes está conformada por todas las tuberías y estructuras que forman las redes de alcantarillado, bien sea de aguas residuales, aguas lluvias o aguas combinadas. Dentro del concepto de integralidad del drenaje urbano, el papel del alcantarillado es recolectar las aguas residuales y lluvias y transportarlas hacia las PTAR, asegurando hermeticidad, minimizando infiltraciones y exfiltraciones, y logrando algún efecto benéfico de tratamiento preliminar o gestionando la cantidad y la calidad del agua residual que llega al tramo o interceptor aguas arriba de dichas plantas.

Dentro del concepto de integralidad del drenaje urbano, el papel de las PTAR es recibir las aguas residuales y eventualmente las aguas lluvias o parte de estas, con unos estándares aceptables de cantidad y calidad de agua que ya han sido modificados por la primera parte del sistema, y llevar a cabo el tratamiento de dichas aguas hasta un nivel que satisfaga los criterios establecidos en la normativa y que cumpla los objetivos de calidad definidos por la autoridad ambiental competente para el respectivo cuerpo receptor.

¹ <http://www.pnud.org.co>

Finalmente, el papel del cuerpo receptor es el de recibir las aguas efluentes de la planta de tratamiento de aguas residuales, haciendo uso de su capacidad de asimilación, en los términos establecidos en el Decreto 3930 de 2010 y la Resolución 631 de 2015. La Autoridad Ambiental Competente deberá, entre otros aspectos, establecer los objetivos de calidad de los cuerpos de agua, de acuerdo con su uso, y de conformidad con los planes de ordenamiento del recurso hídrico.

Los planes de saneamiento y manejo de vertimientos (PSMV) que obligatoriamente deben elaborar las personas prestadoras del servicio público de alcantarillado y presentar para su aprobación a la autoridad ambiental competente, deberán estar articulados con los objetivos y las metas de calidad y uso genérico que defina dicha autoridad para la corriente, tramo o cuerpo de agua receptor, lo cual requiere de tiempos diferentes para su adopción e implantación en la medida que varían las condiciones socioeconómicas y ecológicas de la respectiva cuenca hidrográfica y de la disponibilidad de la información para la aplicación de modelos de simulación de calidad complejos o simplificados.

El concepto de integralidad implica que no se puede realizar ni el diseño ni la construcción de alguna de las partes del sistema de alcantarillado, sin tener en cuenta los efectos que se van a tener sobre las otras y que los diferentes componentes del mismo deben correlacionarse entre sí, de tal manera que sean funcionales y garanticen los objetivos de descontaminación para los cuales fueron planeados. Los sistemas de alcantarillado deben planificarse de tal manera que siempre se minimicen los impactos negativos que la cantidad y la calidad de las aguas residuales y lluvias generan sobre los ecosistemas con que se interrelacionan, con el fin de mantener la sostenibilidad del recurso hídrico.

D.1.3 SISTEMAS DE RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE DE AGUAS RESIDUALES Y/O LLUVIAS

A continuación se presenta la clasificación de los sistemas de recolección y transporte de aguas residuales y/o lluvias establecida para este Título y además se indican los criterios de selección para escoger cada uno de los mismos. Los nuevos sistemas de recolección y transporte de aguas residuales y/o lluvias deben ser de tipo convencional y separado. La implementación de un sistema diferente a los convencionales separados debe contar con los estudios económicos suficientes que permitan concluir sobre la bondad de los sistemas alternativos propuestos.

D.1.3.1 Tipos de sistemas de alcantarillado

Los sistemas de recolección y transporte de aguas residuales y/o lluvias se clasifican de acuerdo con su naturaleza en los siguientes tipos: sistemas convencionales de alcantarillado, sistemas no convencionales de alcantarillado y sistemas *in situ*. En los siguientes literales se hace la descripción de cada uno de ellos:

D.1.3.1.1 Sistemas convencionales de alcantarillado

Los sistemas de alcantarillado separados son la primera opción para el diseño y construcción de sistemas de recolección de aguas residuales y lluvias en el territorio nacional. Estos sistemas son los tradicionalmente utilizados para la recolección y el transporte de las aguas residuales y las aguas lluvias desde su generación hasta las plantas de tratamiento de las mismas o hasta los sitios de vertimiento.

Los sistemas convencionales se dividen en alcantarillados separados y alcantarillados combinados. En los primeros, las aguas residuales y las aguas lluvias son recolectadas y evacuadas por sistemas totalmente independientes; en tal caso, el sistema separado de alcantarillado de aguas residuales usualmente se denomina alcantarillado de aguas residuales; y el sistema por el cual se recolectan y se transportan las aguas lluvias se denomina alcantarillado de aguas lluvias. Los sistemas de alcantarillado combinados son aquellos en los cuales tanto las aguas residuales como las aguas lluvias son recolectadas y transportadas por el mismo sistema de tuberías.

D.1.3.1.2 Sistemas no convencionales de alcantarillado

Debido a que los alcantarillados convencionales usualmente son sistemas de saneamiento costosos, especialmente para localidades con baja capacidad económica, en las últimas décadas se han propuesto sistemas de menor costo, alternativos al alcantarillado convencional de aguas residuales, basados en

consideraciones de diseño adicionales y en una mejor tecnología disponible para su operación y mantenimiento. Dentro de estos sistemas alternativos están los denominados alcantarillados simplificados, los alcantarillados condominiales y los alcantarillados sin arrastre de sólidos. Los sistemas no convencionales pueden constituir alternativas de saneamiento cuando, partiendo de sistemas *in situ*, se incrementa la densidad de población.

1. Los alcantarillados simplificados funcionan esencialmente como un alcantarillado de aguas residuales convencional pero teniendo en cuenta para su diseño y construcción consideraciones que permiten reducir el diámetro de las tuberías tales como la disponibilidad de mejores equipos para su mantenimiento, que permiten reducir el número de cámaras de inspección o sustituir por estructuras más económicas.
2. Los alcantarillados condominiales son sistemas que recogen las aguas residuales de un conjunto de viviendas que normalmente están ubicadas en un área inferior a 1 ha mediante tramos simplificados, para ser conducidas a la red de alcantarillado municipal o eventualmente a una planta de tratamiento.
3. Los alcantarillados sin arrastre de sólidos son sistemas en los que el agua residual, de una o más viviendas, es descargada a un tanque interceptor de sólidos donde estos se retienen y degradan, produciendo un efluente sin sólidos sedimentables que es transportado por gravedad, en un sistema de tramos con diámetros reducidos y poco profundos. En los literales E.3.3 y E.3.4 del Título E del RAS "*Sistemas de tratamiento de aguas residuales*" se presentan los elementos para la concepción y diseño de estos tanques. Sirven para uso doméstico en pequeñas comunidades o poblados y su funcionamiento depende de la operación adecuada de los tanques interceptores y del control al uso indebido de los tramos de la red. Desde el punto de vista ambiental pueden tener un costo y un impacto mucho más reducido, sin embargo, pueden requerir de esfuerzos operativos importantes.

Los sistemas no convencionales pueden utilizarse cuando para un municipio determinado o alguna parte del mismo los sistemas convencionales no conformen alternativas factibles desde el punto de vista socioeconómico y financiero. En el caso de implementar este tipo de sistemas en urbanizaciones existentes, debe tenerse presente la necesidad de realizar una gestión importante en el trámite de las servidumbres. Además, es importante tener en cuenta que los sistemas no convencionales requieren de mayor definición y control sobre las contribuciones de aguas residuales debido a su menor flexibilidad teniendo en cuenta las posibilidades de prestación del servicio a suscriptores no previstos o a las variaciones en las densidades de la población. El desarrollo de este tipo de alcantarillados puede incluir servidumbres como parte del proyecto en cuyo caso es necesario que el diseñador tenga especial cuidado con estas.

Los sistemas de alcantarillado no convencionales requieren además de un componente institucional y de educación comunitaria que permita que funcionen según los supuestos de diseño. Los lineamientos para llevar a cabo los procesos de concepción del proyecto, diseño, construcción, puesta en marcha y operación de los sistemas de alcantarillado no convencionales se encuentran descritos en el Título J del RAS "*Alternativas tecnológicas en agua y saneamiento para el sector rural*".

D.1.3.1.3 Sistemas *in situ*

Por otra parte, existen sistemas basados en la disposición *in situ* de las aguas residuales como son las letrinas y tanques, pozos sépticos y campos de riego, los cuales son sistemas de muy bajo costo y pueden ser apropiados en áreas suburbanas con baja densidad de población y con adecuadas características del subsuelo. En el tiempo, estos sistemas deben considerarse como sistemas transitorios a sistemas convencionales de recolección, transporte y disposición, a medida que el uso de la tierra tienda a ser urbano. En el Título J del RAS "*Alternativas tecnológicas en agua y saneamiento para el sector rural*" se establecen los criterios de diseño de este tipo de sistemas. Además, se debe seguir lo establecido en el Decreto 302 de 2000 si se cuenta con la aprobación de la Autoridad Ambiental y de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios -SSPD.

D.1.3.2 Selección del tipo de sistema de recolección y transporte de aguas residuales y/o lluvias

Para desarrollar sistemas de alcantarillado de aguas residuales y lluvias el diseñador debe seleccionar el sistema o combinación de sistemas más eficiente para drenar las aguas residuales y lluvias de la población o área. La justificación de la alternativa adoptada debe estar sustentada con argumentos técnicos, económicos, financieros y ambientales. A continuación se indican los elementos mínimos que deben tenerse en cuenta en la selección de un sistema de recolección y transporte de aguas residuales y/o lluvias:

1. Las proyecciones de población dentro de lo cual se deben establecer las densidades de población y las poblaciones de saturación.
2. Los planes de ordenamiento territorial (POT).
3. Los consumos de agua potable y las curvas de demanda de estos a lo largo del día, de la semana y del año.
4. Las características hidrológicas de la zona.
5. Las características físicas e hidráulicas de las quebradas y ríos, entre otros cuerpos de agua, que puedan ser utilizados como receptores de las descargas de los aliviaderos, en caso de ser requeridos.
6. Los aspectos socioeconómicos y socioculturales del municipio.
7. Los aspectos institucionales.
8. La infraestructura existente y proyectada de redes de servicio y vías.
9. La capacidad de las redes de alcantarillado existentes ante condiciones iniciales de operación y ante la proyección futura.
10. Los aspectos técnicos y las nuevas tecnologías que sea factible implementar.
11. Las condiciones económicas y financieras particulares del proyecto.

A continuación se presentan los criterios de selección para cada tipo de sistema de recolección y evacuación de aguas residuales y/o lluvias en particular.

D.1.3.2.1 Selección de alcantarillados de aguas residuales

Se deben adoptar en aquellos casos en que en el municipio o localidad no exista ningún sistema de recolección y/o evacuación de aguas residuales. Su adopción requiere una justificación técnica, económica, financiera y ambiental, que incluya consideraciones de tratamiento y disposición de las aguas residuales, para lo cual es recomendable hacer estudios de modelación de la calidad de agua del cuerpo receptor en donde se demuestre que los impactos generados por las descargas del alcantarillado de aguas residuales, permiten cumplir con los usos asignados a dicho cuerpo.

D.1.3.2.2 Selección de alcantarillados de aguas lluvias

Es necesario proyectar estos sistemas cuando las condiciones propias de drenaje de la localidad requieran una solución a la evacuación de la escorrentía proveniente del agua lluvia que causaría inundaciones y demás impactos socioeconómicos en caso de no implementar el mismo. No necesariamente toda población requiere un alcantarillado de aguas lluvias pues, eventualmente, la evacuación de la escorrentía de aguas lluvias podría lograrse satisfactoriamente a través de las calles. En las zonas donde sea necesario, estos sistemas pueden abarcar la totalidad de la población o solamente los sectores con problemas de inundaciones. Su adopción requiere una justificación detallada de tipo técnico, económico, financiero y ambiental.

Para sistemas de alcantarillado nuevos o para ampliación de sistemas de alcantarillados existentes que involucren zonas de desarrollo urbano nuevas, para **sistemas con niveles de complejidad alto y medio alto**, se deben plantear soluciones que recuperen la capacidad de infiltración y almacenamiento del agua lluvia en el terreno, de manera que las urbanizaciones no generen incrementos de volúmenes de agua lluvia hacia otras zonas de la ciudad. Lo anterior puede lograrse con la implementación de mecanismos y dispositivos de almacenamiento temporal del agua lluvia (reservorios) que ayuden a regular los caudales pico de agua lluvia; algunos de estos mecanismos son tanques prefabricados de almacenamiento subterráneo, sistemas de tuberías subterráneas, celdas para almacenamiento, zanjas de infiltración, pavimentos porosos y, superficies con vegetación, entre otros. En **sistema con niveles de complejidad**

medio y bajo, en aquellas ciudades donde se manifieste un crecimiento importante de la población y por ende de la infraestructura del sistema de alcantarillado, en especial el de agua lluvia, es recomendable el uso de estos dispositivos de almacenamiento temporal del agua lluvia.

D.1.3.2.3 Selección de alcantarillados combinados

Este sistema debe ser adoptado en aquellas localidades donde no existan condiciones que permitan el uso de otro tipo de sistemas y en áreas urbanas densamente pobladas, donde los volúmenes anuales drenados de aguas residuales son mayores que los de aguas lluvias o cuando resulte ser la mejor alternativa técnica, económica y ambiental, teniendo en cuenta consideraciones de tratamiento y disposición final de las aguas combinadas, para lo cual es recomendable hacer estudios de modelación de la calidad del agua del cuerpo receptor en donde se demuestre que los impactos generados por las descargas del alcantarillado combinado, permiten cumplir con los usos asignados a dicho cuerpo. Se debe recordar que lo deseable es que los nuevos sistemas de recolección y transporte de aguas residuales y/o lluvias sean de tipo convencional y separado, por lo que la justificación de la selección de un alcantarillado combinado debe contar con los suficientes soportes que lo justifiquen.

D.1.3.2.4 Aspectos adicionales para la selección del sistema de alcantarillado

Para los **sistemas** de todos los **niveles de complejidad**, durante la etapa de planificación y diseño de un sistema de alcantarillado nuevo, la ampliación o renovación de un sistema existente, se debe seguir todo lo establecido en los planes de saneamiento y manejo de vertimientos (PSMV) municipales o regionales. En particular, se debe tener en cuenta que la tendencia moderna es seleccionar sistemas de alcantarillados convencionales separados por lo que un sistema de alcantarillado combinado debe estar plenamente justificado técnica, económica y ambientalmente. En todo caso el vertimiento requerirá la previa obtención del permiso de vertimientos o el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos - PSMV según el caso.

D.1.4 ETAPAS NECESARIAS PARA LA FORMULACIÓN Y ELABORACIÓN DE PROYECTOS DE SISTEMAS DE RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE DE AGUAS RESIDUALES Y/O LLUVIAS

Para todos los **niveles de complejidad**, y con el fin de garantizar el completo desarrollo de los proyectos de sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales y/o lluvias, se deben seguir las siguientes etapas presentadas en los literales D.1.4.1 a D.1.4.4 de este título. El desarrollo de cada etapa debe llevar a garantizar que los componentes del sistema permitan alcanzar los objetivos para los cuales fueron planteados. Los profesionales que desarrollen las etapas deben cumplir con los requisitos mínimos establecidos en el artículo 53 y siguientes de la Resolución 1096 de 2000 y lo establecido en el parágrafo 3 del artículo 42 del Decreto 3930 de 2010.

D.1.4.1 Etapa de conceptualización y planificación

D.1.4.1.1 PASO 1 - Definición del nivel de complejidad del sistema

Debe definirse el **nivel de complejidad del sistema**, según se establece en el capítulo 3, artículos 11, 12 y 13 de la Resolución 1096 de 2000, del Ministerio de Desarrollo Económico, o la norma que la modifique o sustituya, sobre "Determinación del Nivel de Complejidad del Sistema", utilizando la Guía RAS 001.

Tabla D. 1.1. Asignación del nivel de complejidad del sistema

Nivel de Complejidad del Sistema	Población en la zona urbana ² (habitantes)	Capacidad económica de los suscriptores ³
Bajo	< 2500	Baja
Medio	2501 a 12500	Baja
Medio Alto	12501 a 60000	Media
Alto	> 60000	Alta

D.1.4.1.2 PASO 2 - Justificación del proyecto

Todo componente de un sistema de recolección y evacuación de aguas residuales y/o lluvias debe estar justificado de acuerdo con lo señalado en el capítulo IV, artículos 14 a 20 de la Resolución 1096 de 2000, del Ministerio de Desarrollo Económico o la norma que la modifique o sustituya, sobre “Identificación y justificación de los proyectos”. Adicionalmente, el proyecto debe cumplir con los criterios de priorización establecidos en el Capítulo V, artículos 21 y 22 de la Resolución 1096 de 2000, del Ministerio de Desarrollo Económico y la Resolución 1459 de 2005, del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, o la norma que la modifique o sustituya, sobre Priorización de Proyectos.

La entidad territorial, la persona prestadora del servicio público de alcantarillado o cualquier otra entidad que promueva o desarrolle inversiones en el sector de saneamiento básico debe describir las razones que motivan el proyecto especialmente aquellas relacionadas con problemas de salud pública, afectación al ambiente, afectación del bienestar social, entre otras. Lo anterior, con el fin de plantear los objetivos que se pretenden alcanzar con la implementación e identificar las consecuencias negativas evitadas si el nuevo proyecto no se realiza. La justificación del proyecto debe estar soportada con mediciones y/o información estadística previa, más la línea base para el proyecto, además debe determinarse la influencia esperada de la implementación del proyecto propuesto. Los proyectos y obras que se decida ejecutar, deben hacer parte del plan de saneamiento y manejo de vertimientos, elaborado por la persona prestadora del servicio público de alcantarillado y aprobado por la autoridad ambiental competente.

D.1.4.1.3 PASO 3 - Conocimiento del marco institucional

Se deben conocer las competencias de las entidades relacionadas con el servicio de recolección de aguas residuales y lluvias, estableciendo las funciones de cada una en el proyecto. Las entidades y aspectos que deben identificarse son:

1. Entidad responsable del proyecto.
2. Diseñador.
3. Constructor.
4. Papel del municipio y/o departamento, ya sea como prestador del servicio o como administrador del sistema.
5. Persona prestadora del servicio público de alcantarillado (oficial, mixta o privada).
6. Entidades territoriales competentes.
7. Entidades de planeación (Departamento Nacional de Planeación, Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, etc.).
8. Entidad reguladora (Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico u otra).
9. Entidad de vigilancia y control (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios u otra que se considere pertinente).
10. Operador.
11. Interventor.
12. Comunidad del área de influencia del sistema.
13. Autoridad ambiental competente (Corporaciones Autónomas Regionales y las de Desarrollo Sostenible, los municipios, distritos y áreas metropolitanas cuya población urbana sea superior a

² Proyectado al período de diseño, incluida la población flotante.

³ Incluye la capacidad económica de población flotante. Debe ser evaluada según metodología del DNP o cualquier otro método justificado

RAS. Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales Domésticas y Aguas Lluvias

un millón de habitantes dentro de su perímetro urbano, las autoridades ambientales creadas mediante la Ley 768 de 2002)..

14. Plan departamental para el manejo empresarial de agua y saneamiento (PDA).

15. Entidades fuentes de financiación.

D.1.4.1.4 PASO 4 - Acciones legales

Se debe conocer la normativa específica aplicable (leyes, decretos, reglamentos y normas técnicas) y relacionada con la conceptualización, planificación, diseño, operación, construcción, mantenimiento, supervisión técnica y operación de un sistema de alcantarillado en cada uno de sus componentes. Se debe prestar una especial atención al plan de saneamiento y manejo de vertimientos (PSMV) y el plan departamental de aguas (PDA) que correspondan a la jurisdicción del municipio o la región del proyecto.

Debe tenerse en cuenta los compromisos adquiridos por el Estado colombiano en lo concerniente a los objetivos del milenio, y a lo establecido en el Título I: Componente ambiental para los sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo, del RAS, al igual que la Ley 388 de 1997 o aquella que la modifique o sustituya.

D.1.4.1.5 PASO 5 - Aspectos ambientales

El Título I del RAS contiene el componente ambiental para los sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo, y presenta en términos generales el marco jurídico ambiental que debe cumplir el sector de agua potable y saneamiento básico.

La construcción y operación de sistemas de tratamiento que sirvan a poblaciones mayores de 200.000 habitantes requiere Licencia Ambiental tramitada ante la respectiva Corporación conforme al Decreto 2820 de 2010, o la norma que la modifique o sustituya.

Los proyectos que desarrollen alguna de las actividades complementarias del sistema de alcantarillado que no requieran de Licencia Ambiental, para uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables deberán obtener los respectivos permisos de vertimiento, emisiones, concesión de agua y aprovechamiento forestal, según sea el caso, ante la respectiva Autoridad Ambiental.

En aquellos casos en los cuales se determine la necesidad de hacer un proyecto de modelación de la calidad del agua de los cuerpos de agua receptores, dicha modelación se debe hacer siguiendo las directrices que establezca el Decreto 3930 de 2010, la Resolución 631 de 2015 o las normas que los modifiquen o sustituyan y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial. La modelación de la calidad del agua de los cuerpos, ríos o quebradas receptoras, es obligatoria para **sistemas con nivel de complejidad alto**. Adicionalmente debe cumplirse lo establecido en el plan de saneamiento y manejo de vertimientos (PSMV) de la región o municipio correspondiente.

D.1.4.1.6 PASO 6 - Ubicación dentro de los planes de ordenamiento territorial y desarrollo urbano previstos para el municipio

Tanto el diseñador como el operador de un sistema de alcantarillado deben conocer y tener en cuenta el plan de desarrollo municipal o distrital y el plan de ordenamiento territorial (POT, PBOT o EOT) aprobado por el Concejo Municipal o Distrital siguiendo las directrices establecidas dentro del marco de la Ley 388 de 1997 o la que la reemplace para ubicar la infraestructura sanitaria.

En particular, el diseño de un sistema de recolección y transporte de aguas residuales y/o lluvias o de cualquiera de sus componentes, debe contemplar la dinámica del desarrollo urbano prevista en el corto, mediano y largo plazo de las áreas habitadas y las proyectadas en los próximos años, teniendo en cuenta aspectos tales como el uso del suelo, la estratificación socioeconómica, el plan vial y las zonas de conservación y protección de recursos naturales y ambientales, el perímetro sanitario urbano y demás límites geográficos y políticos, entre otros. Teniendo en cuenta todo lo anterior, se debe determinar la localización y distribución espacial de la población actual y futura, así como la densidad de saturación del municipio o de la zona de este objeto del diseño.

Además se debe tener en cuenta dónde se pueden ubicar las obras de infraestructura sanitaria tales como sistemas de bombeo y plantas de tratamiento de aguas residuales según lo establecido en el plan, plan básico o esquema de ordenamiento territorial.

D.1.4.1.7 PASO 7 - Definición del alcance del proyecto

Una vez se haya justificado el proyecto y se hayan identificado los aspectos institucionales legales y ambientales, se debe proceder a la definición de los alcances específicos del mismo. En dicho alcance se debe aclarar si el proyecto que se va a desarrollar corresponde a la implementación de un sistema nuevo, a la ampliación o rehabilitación de un sistema existente. Con respecto a este último se debe aclarar si el proyecto obedece a aumentos de densidad poblacional, a cambios en la operación hidráulica del sistema, a mejoras en la implementación de las labores de operación y mantenimiento y/o, a requerimientos de un refuerzo hidráulico o estructural del sistema, entre otros. Los proyectos de rehabilitación se llevan a cabo cuando el sistema o sus componentes han llegado al límite de su vida útil o son operativamente ineficientes por lo cual es necesario su reemplazo o renovación.

D.1.4.1.8 PASO 8 - Estudios de factibilidad

En todo proyecto de recolección y evacuación de aguas residuales y/o lluvias se deben llevar a cabo los estudios de factibilidad y los estudios previos mencionados en el capítulo A.7 del Título A del RAS "*Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico*". Tales estudios tienen el objetivo de establecer las condiciones físicas, económicas, ambientales y sociales del municipio o de la localidad en la cual se va a llevar a cabo el proyecto, permitiendo un planeamiento factible de escenarios de solución de acuerdo con los objetivos planteados. En los estudios de factibilidad se debe tener en cuenta la existencia tanto los componentes iniciales como los futuros del sistema.

En aquellos casos en que el proyecto identificado corresponda a la ampliación o rehabilitación de un sistema existente, se debe tener en cuenta toda la infraestructura aprovechable ya sea por su buen estado estructural o por su capacidad operativa.

Se deben identificar y cuantificar las fuentes de financiamiento del nuevo sistema o de la ampliación y/o rehabilitación del existente.

D.1.4.1.9 PASO 9 - Generación de alternativas

Teniendo en cuenta los resultados de los estudios de factibilidad y la información obtenida previamente, el planificador del proyecto deberá generar y formular diferentes escenarios o alternativas de solución que cumplan con el alcance y los objetivos definidos para el proyecto de recolección y evacuación de aguas residuales y/o lluvias, tales alternativas deberán guardar concordancia con la integralidad del drenaje urbano. En la generación de alternativas se debe tener en cuenta:

1. Favorecer el desarrollo por etapas.
2. Considerar la integralidad de las cuencas hidrológicas y sanitarias.
3. Aprovechar la infraestructura existente.

A fin de seleccionar la solución más apropiada para la comunidad, el planificador deberá realizar para cada alternativa una evaluación socioeconómica (ver literal D.1.4.1.10) y con base en la comparación de los resultados de la misma se debe seleccionar aquella de mayor beneficio con respecto a su costo económico. La generación de alternativas debe regirse por lo establecido en el literal D.2.3 de este título y en el capítulo A.8 del Título A del RAS "*Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico*".

D.1.4.1.10 PASO 10 - Evaluación socioeconómica

El proceso de comparación de alternativas para un proyecto de recolección y evacuación de aguas residuales y/o lluvias implica su evaluación socioeconómica. En dicha evaluación se deben considerar las etapas de construcción del sistema y sus gastos estimados de operación y mantenimiento siguiendo lo establecido en los capítulos A.4 y A.8 del Título A del RAS: "*Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico*". La anterior evaluación permite encontrar aquella alternativa de solución que produzca el mayor beneficio por unidad de costo del proyecto. Dentro de los beneficios que se deben

plantear se encuentran las mejoras de salud pública, el mayor acceso al servicio de saneamiento, y todos aquellos beneficios que estén relacionados con la mejora en la calidad de vida de las comunidades.

Todos los proyectos deberán contar con un informe preliminar que soporte el cumplimiento de los pasos 1 a 10 de la etapa de conceptualización y planificación descrita en el literal D.1.4.1 de este título.

D.1.4.2 Etapa de diseño

La alternativa seleccionada para el proyecto de alcantarillado, obtenida a través de la evaluación socioeconómica y ambiental será la que se adopte y que debe ser objeto del diseño definitivo. Se debe prestar especial atención a la definición de los protocolos de pruebas que deben establecerse desde esta etapa y que deben llevarse a cabo en el momento de la puesta en marcha del sistema, una vez finalizada su construcción y realizado el recibo de la obra por parte de la persona prestadora del servicio para su operación.

La entidad contratante de los estudios y diseños realizará el seguimiento, supervisión y control de la ejecución de todas y cada una de las actividades solicitadas para adelantarlos, por intermedio de una firma o ingeniero interventor, quién será el responsable por la calidad de los mismos. Por consiguiente, durante la ejecución de los pasos 11 a 14 que se describen enseguida, debe existir un proceso de interventoría.

D.1.4.2.1 PASO 11 - Diseño y requerimientos técnicos de la alternativa seleccionada

El diseño detallado y la definición de requerimientos técnicos finales deben realizarse para la mejor alternativa de proyecto de recolección y evacuación de aguas residuales y/o lluvias obtenida a través de la evaluación socioeconómica. El diseñador debe presentar los planos del proyecto de manera clara para no inducir a confusiones durante la construcción. Así mismo se deben generar los protocolos de prueba y el manual de operación del sistema donde se indique el funcionamiento del mismo. Los protocolos de prueba deben realizarse en el momento de la puesta en marcha del sistema una vez finalizada su construcción antes del recibo de las obras por parte de la persona prestadora del servicio público de alcantarillado.

De acuerdo con lo anterior, en el diseño se deben definir las especificaciones finales del proyecto buscando minimizar los costos de construcción, operación y mantenimiento de la alternativa seleccionada cumpliendo los requerimientos establecidos en el presente documento de acuerdo con el correspondiente **nivel de complejidad del sistema.**

D.1.4.2.2 PASO 12 - Definición de fases de desarrollo

Cuando la ejecución del proyecto de recolección y evacuación de aguas residuales y/o lluvias sea planificada por etapas, estas deben quedar definidas claramente en los diseños, en la factibilidad de financiación, en la evaluación socioeconómica de alternativas y en la presentación final del proyecto. Las ampliaciones del sistema deben ajustarse al crecimiento espacial de los usuarios y a la evaluación hidráulica del sistema ante el aumento de los caudales generados de aguas residuales y/o lluvias.

D.1.4.2.3 PASO 13 - Preparación de especificaciones técnicas

Una vez definido el diseño final del sistema de recolección y evacuación de aguas residuales y/o lluvias se deben preparar todas las especificaciones técnicas que permitan la construcción detallada y puesta en marcha del mismo de acuerdo con los diseños establecidos.

D.1.4.2.4 PASO 14 - Preparación del presupuesto

A partir de los planos de diseño y las especificaciones técnicas del proyecto deben quedar definidas, en un presupuesto detallado, las cantidades de obra, los recursos materiales y los recursos humanos necesarios para implementar el sistema de recolección y evacuación de aguas residuales y/o lluvias. La preparación del presupuesto debe permitir establecer el costo total de inversión del proyecto.

Todos los proyectos deberán contener el *informe preliminar* indicado en el literal D.1.4.1.10 y un *informe de diseño* que soporte el cumplimiento de los pasos 11 a 14 de la etapa de diseño descrita en el literal D.1.4.2 de este título.

D.1.4.3 Etapa de construcción

D.1.4.3.1 PASO 15 - Proceso de contratación

Si en el desarrollo de un proyecto de recolección y evacuación de aguas residuales y/o lluvias existe un proceso de contratación, se deberá generar toda la documentación necesaria de acuerdo con la reglamentación legal colombiana vigente, aplicable a cada materia. El propósito de los documentos de contrato es establecer de manera clara la naturaleza de las obras a ser ejecutadas, sus especificaciones técnicas y la forma de pago de las mismas. Así mismo se establecerá el alcance de las obligaciones contractuales y las responsabilidades de cada uno de los participantes con respecto al proyecto.

D.1.4.3.2 PASO 16 - Construcción e interventoría

Los procesos de construcción e interventoría de construcción y de puesta en marcha de un sistema de alcantarillado de aguas residuales y/o aguas lluvias deben ajustarse a los requisitos mínimos establecidos en el Título G del RAS “*Aspectos Complementarios*” y en el Título I “*Componente ambiental para los sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo*”. Así mismo, se deben tener en cuenta todos los aspectos de gestión del riesgo y análisis de vulnerabilidad del artículo 7 de la Resolución 1096 de 2000, del Ministerio de Desarrollo Económico o la norma que la modifique o sustituya, “Sobre otros reglamentos técnicos”.

D.1.4.4 Etapa de operación y mantenimiento

D.1.4.4.1 PASO 17 - Puesta en marcha

En todas las medidas técnicas concernientes a la verificación de la puesta en marcha de los sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales y/o aguas lluvias o de algunos de sus componentes, se deben seguir todos los requisitos y procedimientos correspondientes que se encuentran en los capítulos D.2 a D.8 de este título de acuerdo con el protocolo de pruebas definido por el diseñador. En esta etapa el operador o persona prestadora del servicio público de alcantarillado asume la realización del proyecto y todas las responsabilidades de su operación y mantenimiento.

D.1.4.4.2 PASO 18 – Operación y mantenimiento

Todos los procedimientos concernientes a los procesos de operación y mantenimiento de los sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales y/o lluvias o de algunos de sus componentes, deben estar de acuerdo con todos los requisitos correspondientes que se encuentran en los capítulos D.2 a D.8 de este título, teniendo en cuenta los respectivos manuales de operación y mantenimiento y los protocolos de prueba definidos por el diseñador. En esta etapa todos los lineamientos del funcionamiento de todas las partes del proyecto deben haber sido establecidos para una eficiente operación y mantenimiento del sistema.

CAPÍTULO D.2

D.2. ASPECTOS COMUNES EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO DE AGUAS RESIDUALES Y AGUAS LLUVIAS

D.2.1 ALCANCE

Este capítulo tiene por objeto definir aquellas condiciones que deben tenerse en cuenta para el diseño de sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales y/o lluvias o de algunas de sus partes, que formen parte de sistemas convencionales, ya sea de sistemas combinados o de sistemas separados.

D.2.2 ESTUDIOS PREVIOS

Para la elaboración de un proyecto de recolección y evacuación de aguas residuales y/o lluvias es necesario llevar a cabo estudios previos, que permitan caracterizar el área del proyecto (región) desde el punto de vista físico y socioeconómico, conocer los sistemas existentes de abastecimiento de agua potable y saneamiento básico; también se deben tener en cuenta los planes de saneamiento y manejo de vertimientos de la región y los planes de desarrollo municipales y departamentales y de ordenamiento territorial (POT, PBOT, EOT). Dichos estudios deben incluir los suficientes soportes técnicos para permitir establecer la factibilidad de las alternativas de solución que se generen para el proyecto. La mejor alternativa que se seleccione debe ser, por lo tanto, factible desde los puntos de vista técnico, económico, financiero y ambiental. En proyectos que correspondan a ampliaciones y/o rehabilitaciones de sistemas existentes, el alcance no requiere necesariamente de todos los estudios previos y por lo tanto son más limitados y puntuales. En el capítulo 4, artículos 14 a 20, de la Resolución 1096 de 2000, del Ministerio de Desarrollo Económico o aquella que la modifique o sustituya, de Identificación y Justificación de proyectos, se describe de manera general toda la información que es relevante para el proceso de planificación e implementación de un sistema de alcantarillado de aguas residuales y/o lluvias.

Para los **sistemas** de todos los **niveles de complejidad**, y antes de llevar a cabo un proyecto de recolección y evacuación de aguas residuales y/o lluvias, se deben determinar las condiciones socioeconómicas del sitio del proyecto, con base en información primaria y/o secundaria, la estratificación socioeconómica de los usuarios del proyecto, la distribución espacial de la población y de la demanda del servicio, los niveles de ingreso promedio del municipio y las actividades socioeconómicas predominantes en éste.

En los siguientes literales se describen en detalle los estudios previos y la información general que debe recolectarse en cada etapa de diseño e implementación de un proyecto de sistemas de alcantarillado que debe incluirse en el informe preliminar y en el informe de diseño. Principalmente, se establecen los estudios mínimos necesarios para garantizar el aprovechamiento y conocimiento de la información relevante de los servicios de acueducto y alcantarillado existentes, así como de los aspectos ambientales relacionados con el manejo integral del agua urbana.

D.2.2.1 Estudio de la cantidad de usuarios del servicio

Para sistemas de recolección de aguas residuales se debe estimar la población a lo largo del período de planeamiento del sistema (Véase el capítulo B.2 del Título B del RAS: “*Sistemas de Acueducto*”). La población estimada en el área del proyecto debe estar de acuerdo con la población y densidades de ocupación establecidas en los planes de ordenamiento territorial de la región, municipio o localidad, de forma que no superen los valores de saturación. La estimación de los usuarios del servicio debe permitir conocer los caudales de diseño del sistema, así como la comprobación de su capacidad hidráulica, en caso de ser requerida.

De acuerdo con el Decreto 3930 de 2010 y la Resolución 631 de 2015, expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el caudal correspondiente a los usuarios industriales, comerciales e institucionales, debe dividirse en el caudal de aguas residuales domésticas y el caudal de aguas

residuales no domésticas. Estas últimas deben clasificarse y tratarse según las disposiciones de la mencionada resolución para ser entregadas a la persona prestadora del servicio de alcantarillado.

D.2.2.2 Características físicas de la zona del proyecto

Para el diseño de cualquier sistema de alcantarillado, o cada uno de sus componentes, se deben tener en cuenta las características físicas de la zona objeto del proyecto. Por lo tanto, se deben describir los aspectos climatológicos, geológicos, geotécnicos y topográficos de dicha zona. A continuación se establece la información mínima que debe conocerse para evaluar las características físicas de la zona del proyecto.

D.2.2.2.1 Estudios hidrológicos

El diseñador debe conocer la información climatológica y meteorológica, que esté disponible, con el fin de determinar las características hidrológicas de la zona del proyecto, en caso de que se diseñe un sistema de alcantarillado de aguas lluvias o aguas combinadas. Como mínimo se deben conocer:

1. Las curvas Intensidad – Duración - Frecuencia de las estaciones hidrológicas y/o climatológicas cercanas al proyecto (incluyendo las del IDEAM y las de otras entidades e instituciones)..
2. La distribución temporal de las precipitaciones (duración de las lluvias) de la zona, requerida para la determinación del caudal de diseño (ver literal D.4.4.1).
3. Las características de los cuerpos receptores en cuanto a crecientes máximas, caudales mínimos y niveles máximos y mínimos.

D.2.2.2.2 Condiciones geológicas

El diseñador debe conocer las condiciones geológicas y las características del subsuelo en la zona del proyecto de alcantarillado. Por medio de planos geológicos existentes en el municipio o en el Instituto Colombiano de Geología y Minería (Ingeominas) y el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), deben identificarse las zonas de falla, de deslizamiento, de inundación y en general todas las zonas que puedan presentar algún problema como consecuencia de aspectos geológicos. En caso de que existan, el diseñador también debe hacer uso, de los planos de microzonificación sísmica del municipio. En el diseño se deben descartar alternativas que crucen zonas claramente identificadas como susceptibles a fenómenos de remoción en masa. El nivel de detalle de los estudios geológicos y geotécnicos debe obedecer a los requerimientos mínimos de la metodología constructiva que se utilice. Para los **sistemas** de todos los **niveles de complejidad**, el diseñador debe conocer el nivel de amenaza sísmica en la zona del proyecto. En particular debe tenerse en cuenta todo lo establecido en la *Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR98 y NSR-10*, en lo pertinente, o aquellas que las modifiquen o sustituyan, con respecto a los niveles de amenaza sísmica de las diferentes zonas de los municipios o la parte de los municipios que sean objeto del diseño.

D.2.2.2.3 Estudio de suelos

Para el diseño de sistemas de alcantarillado se debe seguir lo establecido en el capítulo G.2 del Título G del RAS: “*Aspectos Complementarios*”. En todo caso se debe considerar la participación de un especialista en geotecnia que indique aquellos estudios adicionales a los mínimos establecidos por el presente documento. En el estudio geotécnico se deben considerar por lo menos los siguientes aspectos:

1. Determinación de la clasificación de los suelos, la permeabilidad, el nivel freático, etc.
2. Estudios para determinar las potenciales propiedades corrosivas de los suelos alrededor del trazado o zona del proyecto.
3. Estudios de compresión lateral para el caso de los anclajes y los empalmes que formen parte del sistema de alcantarillado.
4. Para cada tipo de tubería y cada tipo de unión determinados, se debe establecer la máxima deformación en las juntas, causada por movimiento de suelo, que puede resistir la tubería utilizada.
5. Se debe cumplir lo establecido en la Resolución 1096 de 2000 del Ministerio de Desarrollo Económico, en su artículo 192, “Consideraciones sísmicas de los diseños geotécnicos” o la norma que la modifique o sustituya. 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 literal H.4.3.2.1 de la *Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR98 y NSR-10*, en lo pertinente, o aquellas que las modifiquen o sustituyan.

D.2.2.2.4 Estudios topográficos

El nivel de detalle de los estudios topográficos debe ser establecido por el interventor del proyecto en conjunto con el diseñador de acuerdo con la importancia del proyecto desarrollado. De todas formas, para el diseño de los **sistemas de alcantarillado con niveles de complejidad medio alto y alto**, debe seguirse todo lo establecido en los manuales o normas de topografía de la persona prestadora del servicio público de alcantarillado del municipio, en sus versiones vigentes. Por consiguiente, el diseñador debe conocer toda la normativa referente a estudios topográficos dentro del municipio objeto del diseño.

Con el objeto de llevar a cabo un proyecto de diseño de una red de alcantarillado nueva o la ampliación de una red de alcantarillado existente, el diseñador debe recopilar la siguiente información topográfica:

1. Planos aerofotogramétricos del municipio donde va a diseñarse, construirse o ampliarse la red de alcantarillado.
2. Planos de catastro de instalaciones de infraestructura tales como energía, teléfonos, red de distribución de agua potable y otras obras de infraestructura pertinentes.
3. Fotografías aéreas existentes sobre el municipio, que incluya la zona donde va a diseñarse, construirse o ampliarse la red de alcantarillado.
4. Planos de catastro o inventario de redes existentes que tengan relación con la red que va a diseñarse, construirse o ampliarse.
5. Levantamiento topográfico, planimétrico y altimétrico, de la zona del municipio objeto del diseño, o de las áreas de expansión, que existan en los sistemas de información geográfica de las personas prestadoras del servicio público de alcantarillado.
6. Los planos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi -IGAC a escala 1:2000, en caso que existan, para ser usados a nivel de prediseño y de diseño de la red de alcantarillado.

En todos los casos en que existan planos, se deben hacer levantamientos topográficos reales en campo, con el fin de verificar la información contenida en estos.

D.2.2.3 Uso del suelo y límites territoriales de la zona de proyecto

En general, para un proyecto de recolección y/o evacuación de aguas residuales y/o lluvias se deben conocer los regímenes de propiedad, los desarrollos futuros y los usos generales de la zona. El diseñador debe también conocer toda la información planimétrica existente, proveniente de la persona prestadora del servicio público de alcantarillado y/o de las oficinas de planeación municipal o departamental. Como mínimo se debe contar con la siguiente información:

1. El perímetro urbano del municipio.
2. Las áreas de expansión futuras previstas en el plan de ordenamiento territorial del municipio, así como futuros proyectos de infraestructura de gran magnitud.
3. Las áreas en donde el desarrollo urbano no esté permitido por el plan de ordenamiento territorial.
4. Los usos existentes y proyectados del suelo, de acuerdo con lo establecido en el plan de ordenamiento territorial del municipio.
5. Los terrenos de propiedad del Estado, del departamento o del municipio así como los predios o servidumbres que deben adquirirse para los trazados de las redes.
6. Los cursos de agua con sus obras de canalización proyectadas. En particular, se debe tener un perfecto conocimiento del sistema de drenaje urbano de la zona del municipio objeto del diseño.
7. Los proyectos de calles y carreras aprobadas en el plan de desarrollo vial del municipio.
8. Las vías de ferrocarril, las vías del metro, las vías de alto tráfico y las autopistas existentes y proyectadas.
9. oleoductos, ductos de conducción de fluidos, redes eléctricas aéreas y subterráneas, redes de acueductos, acequias, caminos reales y patrimonio cultural e histórico, etc.

D.2.2.4 Análisis de sitios de vertimiento

Se deben identificar las poblaciones localizadas aguas abajo de los posibles sitios de entrega y/o disposición de las aguas residuales evacuadas de la localidad y se deben analizar las características de asimilación de los cuerpos de agua receptores (ríos, quebradas, arroyos, humedales, lagos, ciénagas, embalses y mar) y los posibles efectos ambientales de los vertimientos con y sin tratamiento, con base en la normativa vigente. Si el sitio de disposición final es el mar, se debe determinar el régimen de mareas, vientos y corrientes marinas para los **sistemas con nivel de complejidad alto**. Si es una corriente de agua, para **sistemas con niveles de complejidad medio alto y alto**, se debe estimar el caudal mínimo semanal con un período de retorno de 10 años para determinar su capacidad de depuración y la frecuencia de niveles extremos máximos para evitar remansos en la descarga. Si el sistema receptor es el suelo asociado a un acuífero, deberá aplicarse lo establecido en la normativa específica vigente. Para los **sistemas con niveles de complejidad bajo y medio**, en localidades con topografía plana, es recomendable estimar el caudal mínimo semanal anterior. Adicionalmente, deben tenerse en cuenta las consideraciones del Título E del RAS: “*Tratamiento de aguas residuales*”.

Adicionalmente, debe cumplirse con los requerimientos establecidos en el plan de saneamiento y manejo de vertimientos (PSMV) definido para el municipio o región geográfica objeto del proyecto. Debe prestarse especial atención a los objetivos de calidad de agua definidos para el cuerpo receptor por parte de la autoridad ambiental competente. El análisis y la escogencia de los sitios de vertimiento deben guardar concordancia con la generación de alternativas en la planeación del sistema. De acuerdo con lo anterior, la escogencia de los puntos geográficos y número de puntos de vertimientos debe estar soportada por los estudios de factibilidad económica, técnica y ambiental del sistema. En todo caso el vertimiento requiere la obtención previa del permiso de vertimientos, o el PSMV a que haya lugar, de la autoridad ambiental competente.

D.2.2.5 Descripción de los sistemas e infraestructura existentes

Se deben determinar las características de los sistemas existentes (véanse los literales D.2.2.5.1 y D.2.2.5.2), y de las aguas residuales y/o lluvias en función de las tendencias de ocupación de la tierra y del ordenamiento territorial. Dentro de los aspectos previos a tener en cuenta están la identificación, la descripción, la evaluación estructural y el diagnóstico hidráulico de los sistemas existentes de abastecimiento de agua potable y de recolección y evacuación de aguas residuales y lluvias en el sector objeto del proyecto, teniendo en cuenta la existencia de redes de otros servicios públicos y la generación de interferencias con los mismos.

Debe establecerse la posibilidad de aprovechar total o parcialmente elementos de infraestructura del sistema de alcantarillado existente una vez se haya realizado el diagnóstico hidráulico y estructural del sistema, de acuerdo con el alcance específico del proyecto.

D.2.2.5.1 Descripción y diagnóstico del sistema existente de abastecimiento de agua potable

Se debe establecer el estado actual del sistema de abastecimiento de agua potable existente en la localidad o en el sector de interés, identificando entre otros, los siguientes aspectos que permitan determinar su estado y su relación con un proyecto de recolección y evacuación de aguas residuales y/o lluvias. El grado de detalle de esta información debe ser función del tamaño y del **nivel de complejidad del sistema**. En el caso de proyectos de ampliación o rehabilitación, el diseñador debe establecer qué información local, del sector y municipal es necesaria. Esta información debe ser fundamentalmente de tipo secundario.

D.2.2.5.1.1 Persona prestadora del servicio

Es necesario identificar la persona que prestará el servicio de alcantarillado y su naturaleza de oficial, privado o mixto y su área de atención: municipal o regional. Debe conocerse su capacidad técnica y operativa.

D.2.2.5.1.2 Componentes del sistema

RAS. Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales Domésticas y Aguas Lluvias

Se requiere hacer una descripción general de las fuentes actualmente aprovechadas para abastecimiento de agua antes de la implementación de nuevos proyectos. Debe obtenerse información sobre los componentes del sistema dentro de lo cual es deseable que los planos estén actualizados.

D.2.2.5.1.3 Condiciones del servicio

Se debe recolectar y analizar la información sobre la prestación actual del servicio de abastecimiento de agua potable en la localidad o sector objeto del proyecto, para determinar consumos típicos o, en su defecto, estimativos justificados de estos, principalmente en lo concerniente a los caudales medios diarios; asimismo, se deben describir las áreas urbanas no servidas por el sistema existente y que puedan tener relación con el proyecto.

D.2.2.5.1.4 Calidad del agua

Si existe, es necesario revisar la información sobre la calidad del agua de suministro.

D.2.2.5.1.5 Operación y mantenimiento

Es necesario conocer la capacidad operativa de la persona prestadora del servicio público de acueducto y las condiciones existentes de mantenimiento preventivo y correctivo de los diferentes componentes del sistema.

D.2.2.5.1.6 Deficiencias del servicio de abastecimiento

Se requiere puntualizar los aspectos débiles del servicio de abastecimiento de agua potable y su relación con el sistema de recolección y evacuación de aguas residuales o lluvias, en particular las pérdidas de agua potable.

D.2.2.5.2 Descripción y diagnóstico del sistema existente de recolección y evacuación de aguas residuales y/o lluvias

Es necesario determinar el estado actual de los sistemas existentes de recolección y evacuación de aguas residuales y lluvias de la localidad o del sector de interés del proyecto, identificando los siguientes aspectos, entre otros, que permitan establecer un diagnóstico de los mismos.

D.2.2.5.2.1 Persona prestadora del servicio de alcantarillado

Debe identificarse el prestador del servicio de alcantarillado, que incluya las actividades de recolección y evacuación de aguas residuales y lluvias, su naturaleza de oficial, privado o mixto su carácter municipal o regional y en lo posible conocer su capacidad técnica, operativa y administrativa, al igual que establecer su relación con las personas que prestan los demás servicios del sector de agua potable y saneamiento básico.

D.2.2.5.2.2 Componentes del sistema de alcantarillado

Identificar el tipo (o tipos) de sistema(s) existente(s) e información completa del catastro de red de alcantarillado en el sector objeto del proyecto. Recopilar la información cartográfica existente sobre el sistema de alcantarillado. Hacer una descripción general de los sistemas actuales de recolección y evacuación de aguas residuales y lluvias en el área de interés, y de cada uno de sus componentes, tales como formas de disposición *in situ*, edad, materiales, redes de tuberías, cámaras y cajas de inspección, interceptores, emisarios, canales, estaciones de bombeo y estructuras especiales, al igual que el plan maestro si existiese. Calificar el estado, funcionalidad y condiciones de operación de los sistemas en el área de interés y estimar los períodos en los cuales los componentes principales podrán operar sin adiciones o refuerzos de capacidad. Describir las diferentes formas de disposición final y los sitios para tal fin en el subsuelo, en cuerpos de agua receptores y/o plantas de tratamiento de las áreas asociadas con el proyecto.

D.2.2.5.2.3 Conexiones domiciliarias

RAS. Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales Domésticas y Aguas Lluvias

Se debe revisar la información sobre la prestación actual del servicio de recolección y evacuación de aguas residuales y/o lluvias en el sector objeto del proyecto; identificar las contribuciones especiales.

D.2.2.5.2.4 Costos del servicio

Es necesario conocer o estimar de manera aproximada las tarifas del servicio y los costos de operación y mantenimiento, Incluyendo reposición de redes y actualización de infraestructura por reemplazo de materiales, en el sector del proyecto.

D.2.2.5.2.5 Operación y mantenimiento

Se requiere revisar la capacidad operativa de la persona prestadora del servicio público de alcantarillado, las condiciones existentes de mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo de los diferentes componentes del sistema y los manuales de operación y mantenimiento, si existen.

D.2.2.5.2.6 Deficiencias del servicio de recolección y evacuación de aguas residuales y/o lluvias

Se deben puntualizar los aspectos débiles del servicio de recolección y evacuación de aguas residuales y/o lluvias en el sector del proyecto. Describir las áreas urbanas no recolectadas por el sistema existente y que puedan tener relación con el proyecto.

D.2.2.5.2.7 Análisis de estudios previos

Es necesario revisar los estudios previos existentes sobre recolección y evacuación de aguas residuales y/o lluvias en el sector del proyecto, los cuales pueden servir como punto de partida para evaluar nuevos proyectos siempre y cuando se actualice la información pertinente.

D.2.2.5.2.8 Percepción de la comunidad

Se requiere establecer la percepción de la comunidad con relación al estado actual del sistema de recolección y evacuación de aguas residuales y/o lluvias, si existen en el área de interés, y su posible vinculación y aceptación de un nuevo proyecto.

D.2.2.6 Información base para la evaluación socioeconómica

Al asignar un **nivel de complejidad del sistema** y realizar la respectiva evaluación socioeconómica de las alternativas del sistema debe establecerse la capacidad económica de los usuarios del mismo. Para determinar dicha capacidad se debe recopilar la información necesaria para utilizar las metodologías permitidas según lo señalado en el literal A.3.2 del Título A del RAS: "*Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico*".

D.2.3 GENERACIÓN Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

En el presente literal se establecen aquellas actividades mínimas que deben ser realizadas por los diseñadores de un sistema de recolección y evacuación de aguas residuales y/o lluvias, cuando ya se hayan adelantado los pasos 1 a 8 descritos en el literal D.1.4 de este título. En particular, a continuación se enuncian: la forma de determinar el área tributaria del proyecto, el período de diseño para el sistema de alcantarillado, el cálculo de la población y/o usuarios del sistema, la generación de alternativas, los criterios de selección de la mejor alternativa y el diseño definitivo de la alternativa seleccionada. Lo siguiente aplica, igualmente, para el caso de expansiones a sistemas de alcantarillado o de rehabilitaciones.

D.2.3.1 Definición del período de diseño

Como parte del desarrollo de los sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales y/o aguas lluvias, y antes de generar alternativas de solución, es necesario establecer el período de planeamiento teniendo en cuenta que éste comienza desde el año inicial de operación.

Para la definición del período de planeamiento o período de diseño se deben tener en cuenta: la capacidad del sistema para atender la demanda futura, la densidad poblacional actual y la de saturación, la durabilidad de los materiales y equipos empleados, la calidad de la construcción, así como también la operación y el mantenimiento del mismo. A su vez, el período de planeamiento está influido por la demanda del servicio, la programación de las inversiones, las ampliaciones del sistema, las tasas de crecimiento de la población y, el crecimiento económico del municipio o localidad. Como mínimo, los sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales y/o lluvias deben proyectarse para 30 años en el caso de **sistemas con nivel de complejidad alto** y para 25 años en los demás **sistemas**.

Para los tramos principales del sistema, los interceptores y los tramos finales, se debe evaluar la alternativa de implementación por etapas hasta cubrir el período de diseño establecido para los **sistemas** de todos los **niveles de complejidad**.

D.2.3.2 Ubicación del proyecto y determinación de áreas de influencia

Se debe definir la zona sobre la cual se proyectará el nuevo sistema o se planea la expansión del sistema existente. Adicionalmente, se deben definir las áreas tributarias o las cuencas sanitarias que van a conformar el aporte del caudal al sistema, identificando quebradas, caños, otros cuerpos de agua y el nivel de cobertura del servicio. El límite de la cuenca hidrográfica y de la cuenca sanitaria sobre las cuales se debe recolectar la información básica, de acuerdo con el literal D.2.2 de este título, será aquel que está definido en el plan de ordenamiento territorial del municipio, plan básico de ordenamiento territorial o en el esquema de ordenamiento territorial, según corresponda. En el caso de **sistemas con nivel de complejidad alto**, el límite de la cuenca sanitaria e hidrográfica puede ser definido por la persona prestadora del servicio público de alcantarillado del municipio, de acuerdo con lo establecido en la Ley 388 de 1997 o la norma que la modifique o sustituya.

D.2.3.3 Generación y comparación de alternativas

En el desarrollo de sistemas de alcantarillado (recolección y evacuación de aguas residuales y/o lluvias) se deben predimensionar las características y preestimar los costos de cada una de las alternativas factibles de solución al problema planteado en la justificación de los mismos. Dadas las condiciones particulares del proyecto es necesario evaluar cada alternativa desde los puntos de vista socioeconómico, financiero y ambiental después de que se haya cumplido con los estudios previos correspondientes señalados en el literal D.2.2. Los resultados de la evaluación anterior permitirán seleccionar una de las alternativas como la solución final que será objeto del diseño detallado.

En la comparación de alternativas se deben tener en cuenta distintas fases de construcción del sistema o sus períodos óptimos de expansión de capacidad, con base en el análisis de costo mínimo si éste aplica, la tasa social de descuento, los factores de economía de escala y el análisis de capacidad limitante de los componentes (véase el capítulo A.8 del Título A del RAS: “*Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico*”). La selección de la ubicación de los puntos de descarga o vertimiento debe estar planteada en el análisis de alternativas.

Dentro del análisis de la viabilidad económico-financiera deberán verificarse la capacidad económica de los usuarios y la participación del municipio en el financiamiento. Una vez identificadas las alternativas viables, se procede a su evaluación socioeconómica con el objeto de seleccionar la alternativa más idónea para el diseño (véase el capítulo A.8 del Título A del RAS: “*Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico*”). Para la estimación preliminar de los costos de las alternativas de solución se permite hacer uso de la información de precios unitarios de proyectos previos similares o el desarrollo de funciones de costo citando las fuentes que avalen su validez. En estas funciones se deben considerar costos de construcción, operación y mantenimiento, así como los de reposición, si la alternativa así lo contempla.

D.2.3.4 Desarrollo de la alternativa definitiva

Con base en los resultados de las evaluaciones técnicas, económicas, financieras y ambientales se debe seleccionar la mejor alternativa para ser diseñada, construida, operada y mantenida. La alternativa seleccionada debe contar con licencia ambiental, si ésta se requiere, o la obtención de los permisos ambientales según el caso, y el cumplimiento del título I del RAS: “Componente ambiental para los sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo”.

La mejor alternativa que se seleccione debe ser dimensionada completamente y sus costos de construcción totalmente cuantificados, dentro de un cronograma preciso de ejecución de obras, incluyendo aspectos específicos como el manejo ambiental y urbano durante su construcción, teniendo en cuenta estudios prediales y de servidumbres, de impacto urbano y especificaciones técnicas. En el diseño se deben generar además obligatoriamente, manuales, programas y procedimientos de operación y mantenimiento que garanticen la efectividad y sostenibilidad del sistema a lo largo de su vida útil. Para estaciones elevadoras y/o de bombeo debe cumplirse adicionalmente con lo establecido en el literal D.8.5.1 de este título.

D.2.4 PROTOCOLO DE PRUEBAS DE DISEÑO Y RECOMENDACIONES ESPECIALES

Como parte del diseño de un sistema de alcantarillado, y para todos los **sistemas** de todos los **niveles de complejidad**, el diseñador debe establecer un protocolo de pruebas, que especifique el tipo de pruebas necesarias para comprobar la correcta operación hidráulica y de calidad del agua del sistema una vez éste haya sido construido en su totalidad. Es potestad de la persona prestadora del servicio público de alcantarillado el aplicar el protocolo de pruebas a todos los sistemas diseñados, una vez finalicen los procesos de construcción. Sin embargo, para los **sistemas con niveles de complejidad medio alto y alto** es obligatoria la realización de las pruebas establecidas en el protocolo de pruebas establecido por el diseñador. Con respecto al protocolo de pruebas el diseñador debe establecer al menos lo siguiente:

1. Puntos de medición de caudal dentro del sistema construido.
2. Puntos de medición de niveles de agua en el sistema construido.
3. Tipo y nivel de precisión de los aparatos necesarios para la toma de datos de campo.
4. Frecuencia de toma de datos y los períodos bajo los cuales se deben hacer las medidas de campo.

La información anterior permitirá realizar una modelación hidráulica con el fin de comprobar que la magnitud de los parámetros hidráulicos en la red construida no difiere significativamente con respecto a la magnitud de dichos parámetros para la red modelada. Para los **sistemas con niveles de complejidad medio alto y alto**, la persona prestadora del servicio público de alcantarillado del municipio puede exigir que el diseñador incluya dentro del protocolo de pruebas los siguientes aspectos relacionados con la calidad de agua; este requisito se recomienda para los **sistemas con niveles de complejidad bajo y medio**.

1. Puntos de medición de la calidad del agua.
2. Tipo y nivel de precisión de los aparatos necesarios para la toma de datos de la calidad del agua en campo.
3. Frecuencia de toma de datos y los períodos bajo los cuales se deben hacer las medidas de calidad del agua en campo.

Adicionalmente, el diseñador debe hacer recomendaciones especiales que faciliten los procesos de operación y mantenimiento del sistema de alcantarillado objeto del diseño. Entre éstas se destacan las siguientes:

1. Recomendaciones sobre metodologías y procedimientos de mantenimiento en estructuras especiales del sistema.
2. Recomendaciones sobre procedimientos de operación.
3. Identificación de posibles zonas del proyecto con problemas geológicos y/o geotécnicos.

Para los **sistemas con niveles de complejidad medio alto y alto**, y en aquellos casos en que la persona prestadora del servicio público de alcantarillado decida llevar a cabo las pruebas establecidas en el protocolo mencionado, los datos de campo medidos deben compararse con los resultados de los modelos de comportamiento hidráulico de la red de alcantarillado y, en caso de que existan, los modelos de calidad del agua del sistema, bajo condiciones de flujo permanente y flujo no permanente, de acuerdo

con lo establecido en los literales D.6.3.6.1 y D.6.3.6.2 de este título. El requisito de la modelación hidráulica de los sistemas de drenaje urbano es obligatorio para **sistemas con nivel de complejidad alto**, y se recomienda para **sistemas con nivel de complejidad medio alto**.

D.2.5 REFERENCIACIÓN Y DISPOSICIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA

En este literal se establece la forma como deben referenciarse cada uno de los componentes de un sistema de alcantarillado en las actividades de recolección y evacuación de aguas residuales y/o aguas lluvias, estableciendo la ubicación y las distancias mínimas que deben existir entre las tuberías del sistema de alcantarillado y las tuberías de otras redes de servicios públicos o cualquier otro tipo de infraestructura.

D.2.5.1 Referenciación de componentes

La red de tuberías y las demás estructuras asociadas al trazado definitivo del sistema de alcantarillado objeto del diseño deben tener una referenciación tal que permita su interpretación adecuada en las memorias de cálculo y en los planos de diseño, apoyadas en cualquier tipo de convenciones de dibujo y de planos, definidas por las personas prestadoras del servicio público de alcantarillado del municipio para la elaboración de este tipo de sistemas, y la identificación, caracterización y ubicación topográfica de las estructuras de conexión de las tuberías y los demás elementos del sistema.

Las redes de alcantarillado deben referenciarse con respecto a los puntos de cota o nivel (BM) del Instituto Geográfico Agustín Codazzi -IGAC, en caso que estos existan, o con respecto a los BM de la persona prestadora del servicio público de alcantarillado. La referenciación de tuberías y demás elementos debe hacerse con respecto a los puntos fijos más cercanos y preferiblemente a los elementos definitivos, entendiéndose por estos el borde interior de los andenes. Cualquier dificultad que se presente con respecto a la referenciación de las redes de alcantarillado debe consultarse con la oficina de planeación municipal o con el departamento encargado del catastro de las redes, en caso que exista, de la persona prestadora del servicio público de alcantarillado en el municipio.

D.2.5.1.1 Catastro de la red

Para los **sistemas** de todos los **niveles de complejidad**, en el caso de las redes de alcantarillado debe contarse con un catastro actualizado de la red, que incluya un inventario de todas las tuberías y estructuras complementarias. El catastro debe estar contenido en planos que formen parte de los archivos de la red, preferiblemente haciendo uso de los sistemas de información geográfica (SIG) de la persona prestadora del servicio público de alcantarillado local o regional.

D.2.5.1.2 Referenciación particular de tuberías

D.2.5.1.2.1 Tuberías y paramentos rectos

Para referenciar tuberías respecto a paramentos rectos deben tomarse tres (3) referencias, de la siguiente forma: una (1) en cada una de las dos (2) esquinas de la cuadra y una (1) en el centro. Las referenciaci3nes de las dos (2) esquinas deben hacerse a partir de la intersecci3n de paramentos. Cada una de ellas debe hacerse a ambos paramentos de la vía considerada. También debe medirse la longitud de la cuadra por el paramento que se encuentre mejor definido.

D.2.5.1.2.2 Tuberías o paramentos compuestos por tramos rectos

En este caso deben referenciarse todos los quiebres de la tubería con respecto a ambos paramentos mediante líneas normales a estos, anotando la distancia de cada punto de referenciación a una misma esquina.

D.2.5.1.2.3 Paramentos curvos y tubería recta o curva

Si el trazado de la tubería es curvo, desde los puntos fijos de esquinas, a lo largo de los paramentos deben medirse distancias de 10 m y si la tubería es recta deben medirse distancias de 20 m hasta llegar

a puntos fijos de las esquinas próximas. Se unen los puntos correspondientes de un costado al otro y sobre estas líneas se referencia la tubería.

D.2.5.1.2.4 Datos que deben anotarse en la referenciación de tuberías

Para la referenciación de las tuberías de la red de alcantarillado deben anotarse como mínimo los datos presentados a continuación:

1. Diámetro de la tubería.
2. Clase de la tubería.
3. Material de la tubería.
4. Profundidad de instalación.
5. Pendiente de la tubería.
6. Fecha de instalación.
7. Tipo de unión (mortero, empaque elastomérico, etc.)
8. Marca de la tubería.
9. Revestimiento de la tubería.

D.2.5.1.2.5 Referenciación de estaciones elevadoras y de bombeo

La ubicación de las estaciones elevadoras y de bombeo debe ser referenciada teniendo en cuenta la configuración de la superficie del terreno y el trazado altimétrico y planimétrico de las líneas tributarias a dichas estaciones. Los puntos de referenciación deben quedar aclarados en la altimetría y planimetría debido a que servirán como guía para la construcción y el replanteo del proyecto. Las referencias deberán dejarse adecuadamente materializadas con mojones que existan como puntos estables y perdurables en el tiempo. El número de referencias y su ubicación las definirán conjuntamente el diseñador y/o interventor y el topógrafo del proyecto. Los datos de referenciación deben ser acordados entre el diseñador y la persona prestadora del servicio público de alcantarillado.

D.2.5.1.3 Sistemas de información geográfica

Para los **sistemas con niveles de complejidad medio alto y alto**, y como recomendación para los **sistemas con niveles de complejidad bajo y medio**, en la referenciación de todos los componentes de las redes de alcantarillado, se debe utilizar el sistema de información geográfica (SIG) establecido por la persona prestadora del servicio público de alcantarillado en el municipio. Dicho sistema de información geográfica debe permitir el manejo de todos los datos de la red en forma digital, especialmente para facilitar los datos de entrada a los modelos hidráulicos para el cálculo de la red de alcantarillado y para las demás bases de datos utilizadas por la empresa. Adicionalmente, el sistema de información geográfica (sig) adoptado debe permitir realizar actualizaciones y seguimiento continuo de la red, alimentándolo fácilmente con cualquier información nueva generada por procesos de mantenimiento y/o reposición de tuberías o accesorios, en forma simple y rápida.

D.2.5.1.4 Manejo de la referenciación en conjunto con tecnologías de información

En los **sistemas con niveles de complejidad medio alto y alto**, las tecnologías de información deben permitir la actualización permanente de la información en las bases de datos y en los sistemas de información geográfica definidos por la persona prestadora del servicio público de alcantarillado. Con el fin de cumplir con esto se debe contar con una referenciación precisa de cada uno de los componentes de tal forma que contenga información útil para la actualización del sistema y sea un apoyo para la operación y mantenimiento del sistema. La información proveniente de la referenciación debe mantenerse en formatos digitales compatibles con las bases de datos y con los sistemas de información geográfica definidos por la persona prestadora del servicio público de alcantarillado.

D.2.5.2 Disposición general de las tuberías de alcantarillado

En general, las tuberías deben localizarse siguiendo el lineamiento de las calles. Las tuberías de aguas residuales y/o lluvias no pueden estar ubicadas en la misma zanja de una tubería de acueducto y su cota clave siempre debe estar por debajo de la cota batea de la tubería de acueducto. Para sistemas separados el tramo de aguas lluvias debe localizarse en o cerca del eje de la calzada, mientras que el tramo de aguas residuales debe ubicarse hacia uno de los costados, a una distancia aproximada de un

cuarto del ancho de la calzada (semieje) y no menor de 0,5 m de la acera. En los sistemas de aguas residuales deben cumplirse las distancias mínimas de ubicación con respecto a la red de acueducto. Las tuberías de sistemas combinados deben ubicarse en el eje de la calzada.

En aquellos casos donde existan vías con separador central se deben diseñar redes independientes en cada calzada. Cuando por el costado de una vía se vaya a construir un alcantarillado de aguas residuales y por otro costado uno de aguas lluvias, este último deberá estar más cerca al centro de la vía. En caso contrario, se debe respetar una franja de servidumbre de al menos 1,5 m al eje de la tubería en la cual no se podrá hacer ningún tipo de arborización para evitar que las raíces vayan a interferir con las tuberías de alcantarillado.

Cuando se haga uso de tecnologías sin zanja para la instalación de tramos nuevos en sistemas de alcantarillado, es obligatorio respetar todo lo anteriormente establecido con respecto a la disposición general de tuberías de alcantarillados y la distancia mínima a otras redes.

D.2.5.3 Nomenclatura

Tanto la red de tuberías como las demás estructuras asociadas deben seguir lo definido por Icontec y los sistemas de gestión de calidad, tener una nomenclatura clara que permita una interpretación adecuada de las memorias de cálculo y de los planos de diseño y de construcción. Además, se deben tener convenciones estándar que permiten elaborar los planos de construcción, así como identificar, caracterizar y ubicar topográficamente las tuberías, estructuras de conexión y demás elementos del sistema.

D.2.6 CONSIDERACIONES GENERALES PARA LA PLANIFICACIÓN

Los aspectos generales para la concepción de proyectos de recolección y evacuación de aguas residuales y/o lluvias deben seguirse de acuerdo con lo señalado en el capítulo A.4 del Título A del RAS: “Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico”. En los literales D.2.6.1 y D.2.6.2 de este título se establecen los requisitos y actividades que, en general, son necesarios al desarrollar proyectos completos de recolección y evacuación de aguas residuales y/o lluvias. Para proyectos de expansión y rehabilitación, el diseñador debe establecer cuáles de estos son relevantes para el caso específico.

D.2.6.1 Requisitos que se deben cumplir

1. Estudio de concepción del proyecto, elaborado con base en el capítulo A.4 del Título A del RAS: “Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico”.
2. Estudio de la capacidad de asimilación de la fuente receptora.
3. Planes de desarrollo municipal y departamental y de ordenamiento territorial del municipio según lo estipulado en la Ley 388 de 1997 o la norma que la modifique o sustituya.
4. Identificación de interferencias superficiales y subterráneas que puedan afectar el trazado de las redes del proyecto.
5. Obtención del catastro de red del sistema existente de recolección y evacuación de aguas residuales o lluvias.
6. Muestreos de suelos para determinar sus características geomecánicas y las condiciones de niveles freáticos.

D.2.6.2 Actividades que se deben llevar a cabo

1. Recopilación y complementación de los requerimientos del Reglamento Técnico de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) pertinentes, de planeación municipal, personas prestadoras de servicios públicos o la prestadora del servicio de alcantarillado, autoridad ambiental competente, alcaldía, concejo municipal (POT), corporación autónoma regional, Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, Ministerio de Salud y Protección Social y otras entidades, que establezcan obligaciones particulares y trámites para la aprobación final del proyecto o de las actividades que se realicen. Delimitación de las cuencas y subcuencas de drenaje cuyas contribuciones puedan afectar el dimensionamiento de los componentes del sistema, incluyendo las zonas de expansión previstas y las áreas de drenaje del proyecto.

2. Obtención del catastro de redes del sistema existente, y de otras redes de servicios públicos y de elementos específicos que puedan afectar la ubicación de componentes del proyecto.
3. Verificación de la capacidad del sistema existente y de cada uno de sus componentes. Determinación de componentes limitantes de la capacidad del sistema teniendo en cuenta los cuerpos de agua receptores.
4. Definición del inicio de operación del proyecto y determinación del alcance del proyecto y las etapas de construcción de sus diferentes componentes.
5. Conocimiento del plan de saneamiento y manejo de vertimientos (PSMV) del municipio en donde se ubica el proyecto y de los PSMV de los municipios presentes en la región.
6. Caracterización de los suelos y niveles freáticos en la zona del proyecto.
7. Caracterización de las aguas residuales y/o de escorrentía superficial.
8. Estimaciones de población y/o caracterización de la precipitación de la zona.
9. Estimación de las contribuciones de caudal iniciales y finales al sistema.
10. Trazado de la red del proyecto, ubicación de componentes e interrelación con el sistema existente.
11. Análisis de servidumbres, corredores y predios.
12. Consideraciones sobre la generación de sulfuros en las redes, en el caso de sistemas de aguas residuales o combinados.
13. Consideraciones sobre facilidad de operación y mantenimiento, estabilidad, vulnerabilidad, redundancia e impacto ambiental.
14. Consideraciones sobre sitios de entrega y disposición final de las aguas evacuadas de la localidad.
15. Dimensionamiento hidráulico y estructural del sistema de alcantarillado y todos sus componentes.
16. Diseño hidráulico y estructural del sistema y sus componentes.

D.2.7 ASPECTOS COMPLEMENTARIOS

D.2.7.1 Aspectos estructurales y geotécnicos

Las consideraciones conceptuales y de diseño de los aspectos geotécnicos, estructurales y sísmicos asociados con las redes de tuberías y demás estructuras que conforman un sistema de recolección y evacuación de aguas residuales y lluvias se establecen en el Título G del RAS: "*Aspectos Complementarios*". Especial énfasis debe tenerse en el diseño de zanjas, rellenos y cimentaciones de acuerdo con la tecnología constructiva utilizada. El diseñador debe justificar detalladamente los diseños correspondientes, en particular cuando se trate de sistemas estructurales y geotécnicos especiales.

D.2.7.2 Amenaza sísmica

En los diseños estructurales y geotécnicos asociados con redes de tuberías de aguas residuales y lluvias se deben hacer las consideraciones pertinentes con respecto a los aspectos sísmicos, a los cuales se hace referencia en los literales G.2.4.6 y G.2.4.9 del Título G del RAS: "*Aspectos Complementarios*". Adicionalmente, el diseñador debe tener en cuenta todo lo establecido referente a la gestión de riesgos en redes de recolección y evacuación de aguas residuales y/o lluvias.

D.2.7.3 Aspectos constructivos

Los procesos constructivos de la red de tuberías y demás estructuras complementarias deben basarse en las consideraciones generales que se establecen en el capítulo G.4 del Título G del RAS: "*Aspectos Complementarios*". El diseñador debe justificar plenamente los métodos constructivos propuestos, en particular aquellos que requieran consideraciones especiales.

D.2.7.4 Vulnerabilidad de la red

Se debe realizar un análisis de la vulnerabilidad del sistema, de acuerdo con la predisposición intrínseca de la red a ser afectada o con la posibilidad de perder su función como resultado de la ocurrencia de un evento extremo durante la operación de la red o la materialización de una amenaza.

D.2.7.5 Distancias mínimas a otras redes

Al realizar el trazado de la red, las distancias libres entre las tuberías que conforman la red de recolección y transporte de aguas residuales y/o lluvias y las tuberías de otras redes de servicios públicos se deben tener en cuenta los aspectos que se presentan a continuación:

- a. La distancia horizontal mínima entre las tuberías del sistema de aguas residuales y/o lluvias y las tuberías del sistema de abastecimiento de agua potable deben ser las mostradas en la Tabla D. 2.1.

Tabla D. 2.1. Distancias horizontales mínimas entre redes

Tipo de red de servicio	Distancia mínima (m)
Red de alcantarillado de aguas residuales o combinadas y red de distribución de agua potable	1,5
Red de alcantarillado de aguas lluvias y red de distribución de agua potable	1,2
Red de alcantarillado de aguas lluvias, residuales y combinadas con otras redes	1,2

- b. La distancia vertical mínima libre entre las tuberías de alcantarillado de aguas lluvias y/o aguas residuales con respecto a las tuberías de otras redes de servicio público debe ser como mínimo 0,5 m para los **sistemas** de todos los **niveles de complejidad**. Esta distancia debe ser medida por debajo de las tuberías de agua potable.
- c. Los cruces entre las diferentes redes de servicios públicos con la red de alcantarillado de aguas lluvias y/o residuales deben analizarse de manera individual para establecer la necesidad de diseños especiales. En aquellos cruces en que se incumplan las distancias mínimas establecidas anteriormente, se deben establecer los tipos de protección que deben añadirse a las tuberías de los otros sistemas.

En el diseño se debe indicar, en los planos del proyecto y en los planos de construcción de la obra terminada, la posición relativa de las redes de acueducto, alcantarillado, energía, gas y telecomunicaciones. La distancia vertical se mide entre la cota clave de la tubería de la red de alcantarillado de aguas residuales o lluvias y la cota de batea de la tubería de los otros servicios públicos y redes de otros servicios industriales.

D.2.7.6 Distancia mínima horizontal a paramentos

En el diseño se debe asegurar una distancia horizontal mínima a los paramentos, de tal forma que se garantice la realización de todas las operaciones de mantenimiento, rehabilitación y/o renovación de las redes de alcantarillado sin generar peligro en servicios aledaños y nunca una distancia menor de 0,5 m de la acera.

D.2.7.7 Distancia mínima a cuerpos de agua superficiales

El diseñador debe tener en cuenta lo establecido por el POT con respecto a los retiros mínimos a los cuerpos hídricos. 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, en el diseño se deben incluir las obras necesarias para garantizar la estabilidad de las redes.

D.2.7.8 Colocación y nivelación de las redes

Para los **sistemas** de todos los **niveles de complejidad** el eje de las tuberías debe localizarse con tránsito y estacar cada 10 m. Las tuberías deben referenciarse con respecto a los ejes y los paramentos de las vías, previamente verificados por la oficina de planeación del municipio o localidad.

Los levantamientos altimétricos y planimétricos deben referenciarse a los puntos de cota o nivel (BM) ó placas oficiales de las oficinas de planeación municipal. En aquellos municipios o localidades donde no existan BM o placas oficiales de la oficina de planeación municipal, los levantamientos altimétricos y planimétricos deben referenciarse a los BM y placas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Todas las tuberías de la red de alcantarillado deben colocarse preferiblemente por las zonas verdes de las vías o andenes, siempre que se cumplan las disposiciones sobre la separación entre las tuberías de acueducto y las tuberías o ductos de otras redes de servicios públicos, tal como se establece en el literal D.2.7.5 de este título.

D.2.7.9 Instalación de tuberías

Para los **sistemas** de todos los **niveles de complejidad**, deben analizarse todas las condiciones de instalación de la tubería, especificando las protecciones estructurales requeridas cuando se presenten situaciones especiales de carga. La instalación de las tuberías debe realizarse siguiendo todo lo establecido en el capítulo G.4 del Título G del RAS: “*Aspectos Complementarios*”.

D.2.7.10 Conexión de tramos

La unión o conexión de dos o más tramos de tuberías debe hacerse con estructuras hidráulicas apropiadas, denominadas estructuras o cámaras de conexión. Usualmente, estas estructuras son cámaras de unión o conexión o cámaras de caída. Estas estructuras están comunicadas con la superficie mediante cámaras de inspección. En la norma técnica NTC 1393 del Instituto Colombiano de Normas Técnicas -ICONTEC se establecen los requerimientos de las tapas de estas cámaras de inspección. El diseño hidráulico de estas estructuras depende del régimen de flujo de los tramos afluentes y del tramo de salida o principal, y se basa fundamentalmente en la determinación de las pérdidas de altura hidráulica producidas por la unión. En los literales D.7.3 y D.7.5 de este título se dan los criterios básicos para su análisis hidráulico.

En general, la distancia máxima entre estructuras de conexión de tramos está determinada por la malla urbana, los equipos disponibles de limpieza y el comportamiento hidráulico del flujo. En caso de que ni la malla urbana ni el comportamiento del flujo limiten la distancia máxima, ésta es de 100 a 120 m si la limpieza de los tramos es manual, y puede llegar a 200 m si la limpieza es mecánica o hidráulica. En interceptores o tramos principales, donde las entradas son muy restringidas o inexistentes, la distancia máxima entre estructuras de inspección puede incrementarse en función del tipo de mantenimiento hasta 300 m.

En los literales G.2.2 y G.2.3 del Título G del RAS: “*Aspectos Complementarios*”, se dan los criterios geotécnicos para el diseño de estructuras de unión o conexión en sistemas de alcantarillados. Teniendo en cuenta todo lo anterior, en el diseño se debe establecer una configuración de estructuras de conexión que sea compatible con las tecnologías de limpieza con el potencial de adquisición de equipos de mantenimiento del municipio o persona prestadora del servicio público de alcantarillado, para el mantenimiento de la red.

D.2.7.11 Materiales para ductos en sistemas de alcantarillado

El diseño de los sistemas de recolección y transporte de aguas residuales y/o lluvias debe buscar 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 gases y vapores (entre ellos sulfuros) que ocasionen problemas operativos en la red, las cargas internas y externas actuantes, incluidas aquellas ocasionadas por eventos sísmicos, las condiciones del suelo (corrosión desde el entorno, esfuerzos de tensión, tracción y cizalladura), 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, cámaras de caída y todos los demás componentes que formen parte del sistema de alcantarillado. En la escogencia del material también se debe tener en cuenta todo lo establecido en el literal D.6.3.1 de este título.

RAS. Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales Domésticas y Aguas Lluvias

Para los ductos que conforman los sistemas de alcantarillados, tanto de aguas lluvias como de aguas residuales o combinadas, se pueden utilizar los siguientes materiales: arcilla vitrificada (gres), concreto, concreto reforzado, concreto reforzado con cilindro de acero (CCP), polivinilo de cloruro (PVC), polipropileno (PP), polietileno (PE), hierro dúctil (HD), poliéster reforzado con fibra de vidrio (GRP), resina termoestable reforzada (fibra de vidrio), mortero plástico reforzado y, acero. En caso de que en algunas aplicaciones particulares en partes del sistema de alcantarillado se requiera utilizar un material diferente, éste debe cumplir con las normas técnicas colombianas y normas de calidad correspondientes, así como con el Reglamento Técnico de Tuberías (Resoluciones 1166 de 2006 y 1127 de 2007, expedidas por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial o las normas que las modifiquen o sustituyan), y tener la aprobación previa por parte de la persona prestadora del servicio público de alcantarillado.

Todos los materiales y elementos permitidos en los sistemas de alcantarillado de aguas residuales y/o lluvias, deben cumplir con las especificaciones técnicas correspondientes del ICONTEC o en su defecto de normas internacionales establecidas por la American Water Works Association Standard -AWWA, la American National Standards Institute -ANSI, la American Society for Testing and Materials -ASTM, la Internacional Standard Organization -ISO, o la Deustcher Industrie Normen -DIN. En las Tabla D.2.2 a D.2.4 mostradas a continuación se presentan las normas técnicas del ICONTEC y algunas normas técnicas internacionales asociadas con los materiales de las tuberías y demás componentes del sistema de alcantarillado.

Tabla D.2.2 Especificaciones y normas técnicas para tuberías de alcantarillado

MATERIAL	ICONTEC	INTERNACIONAL
Concreto reforzado	NTC 401, NTC 1328, NTC 3789, NTC 1259	ANSI/ASTM C 76, ANSI/ASTM C 361 ANSI/ASTM C 443, ANSI/ASTM C 506 ANSI/ASTM C 507, ANSI/ASTM C 655 ANSI/ASTM C 877
Concreto simple	NTC 1022, NTC 1328	ANSI/ASTM C 14
Concreto reforzado con o sin cilindro de acero – CCP	NTC 747	AWWA C 300 AWWA C 301 AWWA C 302 AWWA C 303 AWWA C 304 ASTM C 822
Asbesto-cemento	NTC 44, NTC 239 NTC 268, NTC 384 NTC 487	ASTM C 428 ASTM C 644C ISO R 881
Arcilla vitrificada (Gres)	NTC 511, NTC 3526 NTC 4089	ASTM C 12, ANSI/ASTM C 700 ASTM C 425, ANSI/ASTM C 301
Hierro fundido	NTC 3359	ASTM A 74-72 ANSI A 21.6 (AWWA C 106) ASTM C 644
Resina termoestable reforzada con fibra de vidrio (GRP)	NTC 3870, NTC 2836 NTC 3875, NTC 3876 NTC 3877, NTC 3878 NTC 3918	ASTM D 3262, ASTM D 3681 ASTM D 2996, ANSI/ASTM D 2997 ASTM D 2310, ASTM D 3754 ASTM D 2412, ASTM D 2924 ASTM D 3839, ASTM D 4161 ASTM D 5365
Polipropileno (PP)	NTC 2966 NTC 3576 NTC 3577 NTC 4392 NTC 5646-1 NTC 5646-2	ASTM D 5857, ASTM D 2435 ASTM F 2418, ASTM F 1668 ASTM F-2389 ASTM F-2736 ASTM F-2764 ISO 7671 ISO 8773 ISO 9969 ISO 13272 ISO 5494 DIN EN 16928 DIN EN 19560-10 DIN EN 13476-3 DIN EN 13476-4 DIN CEN/TS 14758-3
Hierro dúctil (HD)	NTC 2346 NTC 2587 NTC 2629 NTC 3359	ISO 2531, ISO 4633 ISO 5208, ISO 5210 ISO 5752 serie 14, ISO 5752 ISO 7005-2, ISO 7259 ANSI A 21.4 (AWWA C 104) ANSI A 21.5 (AWWA C 105) ANSI/AWWA C 110

RAS. Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales Domésticas y Aguas Lluvias

MATERIAL	ICONTEC	INTERNACIONAL
		ANSI A 21.5 (AWWA C 115) ASTM A 746
Acero	NTC 2091, NTC 4831 NTC 5138, NTC 5064	ASTM A 475, ASTM A 760 ASTM A 761, ASTM A 762, ASTM 796 AASHTO M-36, AASHTO M-245, AASHTO CAPITULO 15, ASTM 849, ASTM 979
Polietileno (PE)	NTC 1747, NTC 5447, NTC 2534, NTC 2536, NTC 4839	ASTM D 1248, ASTM D 2239, ASTM D 2412 ASTM D 3035, ASTM D 3261, ASTM F 714 ASTM F 894, ASTM F2306 AASHTO M 252, AASHTO M 294, ISO 21138
Polibutileno		ASTM F 809, ASTM D 2581 AWWA C902
Policloruro de vinilo (PVC)	NTC 1087, NTC 1341 NTC 1748, NTC 2534 NTC 2697, NTC 3640 NTC 3721, NTC 3722 NTC 4764 -1, NTC 4764 -2 NTC 369, NTC 2795 NTC 3358, NTC 5055 NTC 5070	ANSI/ASTM D 2564 ANSI/ASTM D 2680 ANSI/ASTM D 3033 ANSI/ASTM D 3034 ANSI/ASTM D 3212 ANSI/ASTM F 477 ASTM F 545, ASTM F 679 ASTM F 949, ASTM F 794
Mortero plástico reforzado (RPM)		ANSI/ASTM D 3262 ASTM D 3754

Tabla D.2.3 Normas de acero de refuerzo

MATERIAL	ICONTEC
Acero de refuerzo liso	NTC 161
Acero de refuerzo corrugado	NTC 248
Alambre de acero para refuerzo	NTC 116
Alambre de acero al carbono grafilado para refuerzo de concreto	NTC 1907
Alambre de refuerzo de concreto pretensado	NTC 159
Mallas de acero soldadas fabricadas con alambre liso para refuerzo de concreto	NTC 1925
Mallas de acero soldadas fabricadas con alambre corrugado	NTC 2310
Barras de acero de carbono, trabajadas en frío	NTC 245

Tabla D.2.4 Especificaciones y normas técnicas de materiales y mezclas para concreto

MATERIAL	ICONTEC	INTERNACIONAL
Cemento portland	NTC 30, NTC 121, NTC 321	
Agregado grueso	NTC 126, NTC 174 NTC 183, NTC 589	
Agregado fino	NTC 127, NTC 174	
Aditivos	NTC 1299	ASTM C 260, ASTM C 618

Adicionalmente a lo anterior, con respecto a los materiales que conforman los ductos y las estructuras de los sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales y/o aguas lluvias, en el diseño también debe tenerse en cuenta todo lo establecido en las normas, manuales y especificaciones de la persona prestadora del servicio público de alcantarillado.

Algunos ductos y otros componentes del sistema son construidos *in situ* por lo cual se debe seguir todo lo establecido en el Título G del RAS: “Aspectos Complementarios”. En este caso se incluyen ductos y canales fabricados en materiales como concreto reforzado, ladrillo vitrificado, asfalto, entre otros, así como cámaras de inspección, cámaras de caída, *box culverts*, aliviaderos en alcantarillados, etc.

D.2.7.12 Tecnologías sin zanja

Dentro de las metodologías constructivas de instalación y rehabilitación de tuberías de alcantarillado se encuentran las tecnologías sin zanja (del inglés *Trenchless Technologies*), que son recomendadas en aquellos casos en que sea necesario intervenir zonas urbanas, donde las tecnologías de excavación convencionales generarían una mayor afectación en la superficie, asociadas a costos directos causados en la ejecución del proyecto e indirectos causados a la sociedad. Estos métodos requieren de una extensiva investigación de la configuración y el trazado de todos los servicios instalados bajo la superficie y de las condiciones geotécnicas de la zona intervenida para minimizar el riesgo asociado con la ejecución de la construcción.

D.2.8 PLANOS Y MEMORIAS DE CÁLCULO

D.2.8.1 Informes y memorias del proyecto

Para las memorias de cálculo de los diseños de los sistemas de alcantarillado, se debe seguir lo establecido en el literal A.6.2 del Título A del RAS: “*Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico*”. Éste establece que los planos arquitectónicos, hidráulicos, estructurales y mecánicos que sean necesarios para la ejecución de la obra de recolección de aguas residuales y/o lluvias deben ir acompañados por memorias de cálculo detalladas que describan los procedimientos con los cuales se realizaron dichos diseños. Entre otras cosas, las memorias de cálculo deben incluir lo siguiente:

1. Las suposiciones utilizadas en los diseños.
2. Las suposiciones sobre la población beneficiada.
3. Las metodologías y ecuaciones de diseño utilizadas.
4. La verificación del cumplimiento de los requisitos mínimos establecidos en este título.
5. La referencia a todas las normas técnicas municipales, nacionales o internacionales para los materiales, equipos y procedimientos específicos utilizados para el diseño del sistema de alcantarillado.
6. La información con base en la cual se realizaron los planos de construcción.
7. La referencia a las leyes, decretos y códigos nacionales.
8. En el caso en que para el proceso de diseño se utilice un procesamiento automático de información, debe entregarse una descripción detallada de los principios en que se basa dicho procedimiento así como una descripción de los datos de entrada y salida del proceso computacional.
9. El protocolo y los procedimientos de prueba dados por el diseñador.
10. El presupuesto detallado, soportado por un análisis de precios unitarios con la fecha precisa de su elaboración.
11. Manual de operaciones, en donde se indique el esquema operativo de la red diseñada.

El contenido mínimo de la presentación del diseño debe contener por lo menos un análisis de alternativas y concepción básica del sistema; trazado del sistema en planta y perfil; memorias de cálculos hidráulicos, sanitarios, geotécnicos, estructurales, mecánicos, eléctricos, electrónicos y demás que se considere pertinente; diseños; planos (es requisito presentarlos también en medio magnético) y procesos constructivos; materiales, cantidades de obra y costos unitarios; especificaciones técnicas; servidumbres y predios; licencia ambiental; plan de manejo ambiental; impacto urbano; aspectos de operación y mantenimiento; manual de operación; aspectos de monitoreo y control y; aspectos de vulnerabilidad, los cuales están contemplados en el permiso de vertimiento.

D.2.8.2 Planos de diseño y construcción

En los planos de diseño se deben definir todas las obras propuestas, a fin de permitir su ejecución, servir de base para efectuar las mediciones correspondientes para determinar los costos de la obra. Con respecto a la presentación de planos de diseño, se deben seguir los siguientes lineamientos:

1. Levantamiento planimétrico y altimétrico del área del proyecto y de sus zonas de expansión en una escala 1:2.000, o inferior, según el nivel de detalle que se requiera, con curvas de nivel cada metro. En el capítulo G.5 del Título G del RAS: “Aspectos Complementarios” se establecen los requerimientos mínimos de los levantamientos topográficos.
2. Estudio de la situación del proyecto a escala 1:5.000 en formato ISO-A1 (594 mm x 841 mm) o 1:10.000 en ISO-A3 (297 mm x 420 mm), con equidistancia mínima de las curvas de nivel cada metro se debe indicar el trazado de la red de alcantarillado, la sesión en el terreno, las pendientes y la localización de las estructuras especiales, así como cualesquiera otros aspectos relevantes.
3. Identificación de las cuencas, subcuencas y áreas de drenaje de interés para el proyecto, en planos topográficos con una escala mínima de 1:25.000.
4. Identificación de los terrenos, los propietarios y las identificaciones de servicio afectadas por el proyecto.
5. Elaboración de la planta y perfil longitudinal de los elementos principales del proyecto en formato ISO-A1 (594 mm x 841 mm), con una escala horizontal de 1:1000 y una escala vertical de 1:100, identificando los caudales, las pendientes, las cotas y la localización de estructuras y elementos especiales que forman parte del sistema. En caso de utilizar el formato ISO-A3 (594 mm x 841 mm), dichas escalas deben ser 1:2.000 y 1:200 respectivamente. En el perfil longitudinal, los planos deben indicar el tamaño de la sección transversal de cada tramo de las tuberías y el material de construcción.
6. Secciones de todas las cámaras, estructuras especiales y tramos de tuberías.
7. Elaboración de secciones de cada estructura especial, tales como cámaras de caída, aliviaderos en alcantarillados combinados, estructuras de almacenamiento para reducción de picos de caudal, etc.

Adicionalmente, el constructor del proyecto de un sistema de recolección y evacuación de aguas residuales y/o aguas lluvias, debe hacer entrega de los planos registro de construcción, los cuales deben basarse o estar acordes con los planos de diseño original o con los cambios aceptados por el diseñador, respetando todos los requerimientos mencionados anteriormente.

D.2.9 TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN PARA LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

D.2.9.1 Sistemas de información geográfica

Para los proyectos de alcantarillado, ya sean proyectos nuevos, de ampliación o de rehabilitación de alcantarillados existentes, y para los **sistema con niveles de complejidad medio alto y alto**, se debe hacer uso de sistemas de información geográfica, que permitan el manejo de toda la información de la red de alcantarillado en un modelo digital y faciliten la generación de la información de entrada al modelo hidráulico de la red de drenaje en forma simple y rápida. Adicionalmente, el sistema de información geográfico debe permitir realizar una actualización y seguimiento continuos de la red, alimentándola con cualquier información nueva posterior. El sistema de información geográfico que sea utilizado por el diseñador debe ser igual o al menos compatible con el sistema de información geográfico definido por la persona prestadora del servicio público de acueducto en el municipio, sistema sobre el cual se debe crear toda la base de datos de información referente a la red de alcantarillado.

Para los **sistemas con nivel de complejidad medio**, se recomienda el uso de sistemas de información geográfica. Para los **sistemas con nivel de complejidad bajo**, en caso de que exista una persona que preste el servicio de operación de alcantarillado regionalmente, se debe hacer uso del sistema de información geográfico establecido por dicha persona.

D.2.9.2 Programas de diseño de redes de alcantarillado

Para el caso de **sistemas con nivel de complejidad alto**, y como recomendación para los **sistemas con nivel de complejidad medio alto**, el diseño debe basarse y hacer uso de programas de simulación hidráulica de redes de alcantarillado que hagan uso de las ecuaciones de conservación de la masa y conservación de la energía, así como la ecuación de resistencia fluida de Darcy-Weisbach o de Manning

teniendo en cuenta sus límites de aplicabilidad. Estos programas deben permitir obtener resultados de simulación y diseños óptimos.

Los programas de análisis hidráulico deben tener la capacidad de simular condiciones de flujo uniforme en la red, así como condiciones de flujo gradualmente variado y flujo no permanente teniendo en cuenta las correspondientes condiciones de frontera. El programa de análisis debe tener capacidad de incluir los efectos de las cámaras de inspección y de otras estructuras del sistema de alcantarillado, debido a las pérdidas de energía que estas causan. El programa debe incluir las ecuaciones correspondientes para el análisis de dichas pérdidas menores.

Adicionalmente, se recomienda que el programa seleccionado permita el intercambio directo de información con el sistema de información geográfica y las bases de datos definidos por la persona prestadora del servicio público de alcantarillado en el municipio.

Para los sistemas con **niveles de complejidad bajo y medio** el diseño puede realizarse con flujo uniforme, verificando que el sistema de alcantarillado funciona apropiadamente bajo los regímenes de flujo gradualmente variado o de flujo no permanente.

D.2.9.3 Diseño optimizado de sistemas de alcantarillado

Para los **sistemas con nivel de complejidad alto**, y como recomendación para los **sistema con nivel de complejidad medio alto**, en todo proyecto de diseño de una red de alcantarillado nuevo o de ampliación o reposición de una red de alcantarillado existente, el diseñador debe realizar una optimización del diseño desde el punto de vista económico e hidráulico y garantizar que cumpla los objetivos del plan de saneamiento y manejo de vertimientos definido para el municipio objeto del proyecto. Para esto, se permite hacer uso de herramientas tecnológicas, de tal forma que se pueda analizar una alta variedad de alternativas.

D.2.9.4 Calidad de agua en sistemas de alcantarillado

En los diseños de redes de alcantarillado nuevas o ampliaciones de redes de alcantarillado existentes, rehabilitación de redes de alcantarillado, o proyectos que involucren la interacción de diferentes sistemas de alcantarillado y que, en cualquiera de estos casos, la cuenca de drenaje definida supere las 100 ha, en el diseño se debe incluir un análisis de la calidad del agua y su evolución a lo largo de toda la red de alcantarillado y de los cuerpos receptores de sus descargas o de sus aliviaderos en caso de los alcantarillados combinados.

Los programas de simulación de calidad del agua deben tener capacidad de simular la evolución de los principales contaminantes dentro de los cuerpos de agua y de las estructuras del sistema de alcantarillado, tales como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la demanda química de oxígeno (DQO), los sólidos suspendidos totales (SST) y los parámetros adicionales definidos en la normativa específica. El análisis de la calidad del agua en los cuerpos receptores debe incluir las condiciones iniciales de la calidad del agua aguas arriba de la descarga del sistema de alcantarillado, ya sea ésta directa o a través de un aliviadero en alcantarillado combinado, y debe proseguir hacia aguas abajo hasta la entrega a un cuerpo mayor de agua.

D.2.9.5 Sistemas de monitoreo y tipo SCADA

Para **sistemas con nivel de complejidad alto**, y con el fin de llevar a cabo el proceso de diseño de un sistema de alcantarillado nuevo o la ampliación o renovación de un sistema de alcantarillado existente, el diseñador debe tener en cuenta toda la información histórica proveniente de las bases de datos y de los sistemas de adquisición de datos y control de supervisión (SCADA - *Supervisory Control and Data Acquisition*) que existan en el municipio objeto del diseño. Esta información debe analizarse en conjunto con toda la información registrada en el sistema de información geográfica de la persona prestadora del servicio público de alcantarillado del municipio.

Adicionalmente, como parte del proyecto de diseño, se debe definir el tipo de información que debe monitorearse hacia futuro en el nuevo sistema, ya sea completamente nuevo o la ampliación de un sistema existente, estableciendo el sitio de medición remota, los parámetros a ser medidos, la precisión de los aparatos y la frecuencia de las mediciones, cuando estas sean posibles de realizar. En particular, se deben definir los tipos de aparatos de medición de caudales, de medición de niveles en las tuberías y,

RAS. Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales Domésticas y Aguas Lluvias

en las cámaras de inspección y estructuras de caída, los parámetros de calidad del agua. La implementación en campo de las recomendaciones sobre medidas dadas en el diseño, es obligatoria para **sistemas con nivel de complejidad alto** y se recomienda para **sistemas con nivel de complejidad medio alto**. Se debe asegurar que los datos adquiridos en campo se integren directamente con las bases de datos definidas por la persona prestadora del servicio público de alcantarillado del municipio para el uso de la información en el futuro.

CAPÍTULO D.3

D.3. REDES DE ALCANTARILLADO DE AGUAS RESIDUALES

D.3.1 ALCANCE

En el presente capítulo se establecen las condiciones para la definición y estimación de los parámetros de diseño que deben tenerse en cuenta en los procesos de planificación, diseño, puesta en marcha, operación y mantenimiento de los sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales, limitándose a los alcantarillados de tipo convencional. Posteriormente en el capítulo D.6 de este título, se establece la forma de cálculo y comprobación hidráulica de estos sistemas de alcantarillado.

D.3.2 CONCEPCIÓN DEL PROYECTO

Los aspectos generales para la concepción de proyectos de recolección y evacuación de aguas residuales deben seguirse de acuerdo con el capítulo A.4 del Título A del RAS: “*Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico*”. Estos sistemas se implementan en aquellos casos en que no exista ningún sistema de alcantarillado en el municipio o localidad. Se deben generar distintas alternativas de solución y seleccionar la mejor de estas con base en una evaluación socioeconómica, técnica y ambiental y teniendo en cuenta el **nivel de complejidad del sistema**. En la concepción de proyectos de recolección y evacuación de aguas residuales se deben tener en cuenta al menos:

1. Los límites geográficos y políticos del municipio o localidad.
2. El trazado del sistema desde la generación de aguas residuales hasta el punto de descarga.
3. La selección de materiales de las tuberías y de las estructuras complementarias del sistema.
4. Consideraciones de costo y durabilidad del sistema teniendo en cuenta su periodo de diseño.
5. La localización de estaciones de bombeo, si son necesarias.
6. La localización de las conexiones domiciliarias, presentes y futuras.
7. Todas aquellas consideraciones especiales que permitan implementar un sistema eficiente.

D.3.3 PARÁMETROS DE DISEÑO

Los parámetros de diseño constituyen los elementos básicos para el desarrollo de un sistema de recolección y evacuación de aguas residuales. Es función del Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico, apoyado en la Junta Técnica Asesora del RAS, establecer los mecanismos, procedimientos y metodologías para la revisión, la actualización y la aceptación de los parámetros de diseño de sistemas de recolección y evacuación de agua residuales. Adicionalmente, para la implementación de un diseño particular, se debe tener en cuenta que éste cumpla con los planes de saneamiento y manejo de vertimientos (PSMV) de los sistemas de recolección y transporte de aguas residuales, definidos para el municipio, localidad o región.

D.3.3.1 Período de diseño

Con respecto al período de diseño para un sistema nuevo de recolección y evacuación de aguas residuales y/o aguas lluvias, o la ampliación de un sistema existente, se debe seguir todo lo establecido en el literal D.2.3.1 de este título.

D.3.3.2 Proyección de los usuarios

Deben estimarse la población actual y futura del proyecto, con base en información oficial censal y censos disponibles de suscriptores del acueducto y otros servicios, en particular del servicio de energía, de la localidad o de localidades similares. Los estimativos de población deben basarse en lo señalado en el capítulo B.2 del Título B del RAS: “*Sistemas de Acueducto*”. En las proyecciones de población para proyectos de recolección y evacuación de aguas residuales se deben considerar las densidades de

saturación, de acuerdo con los planes de ordenamiento territorial de la localidad, a través de zonificaciones del uso de la tierra.

Con respecto a la estimación de la demanda de agua potable, la cual se debe utilizar para el cálculo de los caudales de aguas residuales, se debe seguir todo lo establecido en el capítulo B.2 del Título B del RAS: “Sistemas de Acueducto”.

D.3.3.3 Contribuciones de aguas residuales

El volumen de aguas residuales aportadas a un sistema de recolección y evacuación está integrado por las aguas residuales domésticas, industriales, comerciales e institucionales. Su estimación debe basarse, en lo posible, en información histórica de consumos o patrones de consumo, mediciones periódicas y evaluaciones regulares. Para su estimación en el diseño de sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

D.3.3.3.1 Caudal de aguas residuales domésticas (Q_D)

Con el fin de llevar a cabo el cálculo del caudal de diseño de aguas residuales domésticas para cada uno de los tramos que conforman la red de alcantarillados de aguas residuales, la demanda de agua potable es vital para calcular dicho caudal de diseño, a través de un coeficiente de retorno. La demanda de agua potable se puede calcular siguiendo una de las tres siguientes metodologías: la proyección de la demanda de agua potable en el sector objeto del diseño; la proyección de los suscriptores en el área objeto del diseño y; en último caso, la proyección de la población en el área objeto del diseño teniendo en cuenta las densidades de saturación.

En caso de que se cuente con la proyección de la demanda de agua potable, dentro de las estadísticas de la persona prestadora del servicio público de acueducto del municipio, el caudal de diseño de aguas residuales domésticas se calcula de acuerdo con la ecuación (D.3.1).

$$Q_D = C_R \times D_{NETAF} \times A \quad (D.3.1)$$

donde:

- Q_D = Caudal de aguas residuales domésticas (L/s).
- C_R = Coeficiente de retorno (adimensional).
- D_{NETAF} = Demanda neta de agua potable por unidad de área tributaria (L/s.ha).
- A = Área tributaria de drenaje (ha).

En caso de que la proyección de la demanda de agua potable se haya hecho haciendo uso de la proyección de los suscriptores del servicio en el área objeto del proyecto del sistema de alcantarillado, el caudal de diseño de aguas residuales domésticas se calcula de acuerdo con la ecuación (D.3.2) mostrada a continuación:

$$Q_D = \frac{C_R \times P_S \times D_{NETA}}{30} \quad (D.3.2)$$

donde:

- Q_D = Caudal de aguas residuales domésticas (m³/día).
- C_R = Coeficiente de retorno (adimensional).
- P_S = Número de suscriptores proyectados al período de diseño (suscriptores).
- D_{NETA} = Demanda neta de agua potable proyectada por suscriptor (m³/suscriptor/mes).

Como última opción, en caso de que no existan proyecciones de demanda de agua o proyecciones de suscriptores, el cálculo de caudal de diseño de aguas residuales domésticas se hace utilizando la proyección de población en la zona objeto del diseño. En caso de que se opte por esta última metodología, se debe utilizar la ecuación (D.3.3):

$$Q_D = \frac{C_R \times P \times D_{NETA}}{86400} \quad (D.3.3)$$

donde:

- Q_D = Caudal de aguas residuales domésticas (L/s).
 C_R = Coeficiente de retorno (adimensional).
 P = Número de habitantes proyectados al período de diseño (hab).
 D_{NETA} = Demanda neta de agua potable proyectada por habitante (L/hab/día).

En caso de no existir mediciones de las dotaciones netas utilizadas en las ecuaciones (D.3.1), (D.3.2) y (D.3.3) se deben emplear aquellas que se encuentran definidas en el literal B.2.5 del Título B del RAS: “Sistemas de Acueducto”. Igualmente, si la persona prestadora del servicio público de alcantarillado no ha definido su porcentaje de pérdidas técnicas se deben utilizar aquellas definidas en el literal B.2.6.3.3 del Título B del RAS: “Sistemas de Acueducto”. En las tres últimas ecuaciones, el coeficiente de retorno es la fracción del agua potable de uso doméstico entregada como aguas residuales al sistema de recolección y evacuación. La estimación del coeficiente de retorno preferiblemente debe provenir de análisis de información existente en la localidad y/o de mediciones de campo realizadas por la persona prestadora del servicio público de alcantarillado para cada una de las zonas del municipio. En caso de que esta información no exista, o se considere muy limitada o escasa, pueden utilizarse, como guía, los valores del coeficiente de retorno dados en la Tabla D.3.1, justificando apropiadamente el valor adoptado finalmente.

Tabla D.3.1 Coeficiente de retorno de aguas residuales domésticas

Nivel de Complejidad del Sistema	Coeficiente de retorno
Bajo y Medio	0,80
Medio Alto y Alto *	0,85

*Puede ser definido por la persona prestadora del servicio público de alcantarillado

D.3.3.3.2 Caudal de aguas residuales industriales (Q_i)

El consumo de agua industrial varía de acuerdo con el tipo y tamaño de la industria (ver capítulo B.2 del Título B del RAS: “Sistemas de Acueducto”) y los aportes de aguas residuales varían con el grado de recirculación de aguas, los procesos de pretratamiento y tratamiento. Debe hacerse la revisión de las captaciones de agua utilizadas por las industrias, las cuales no necesariamente provienen del acueducto; pero si pueden estar interesadas en utilizar el sistema de alcantarillado sanitario. En consecuencia, los aportes de aguas residuales industriales Q_i deben ser determinados para cada caso en particular, con base en información de censos, encuestas y consumos industriales, 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.

Para los **sistemas** de todos los **niveles de complejidad**, es necesario elaborar análisis específicos de aportes industriales de aguas residuales, en particular para zonas netamente industriales e industrias medianas y grandes, ubicadas en zonas residenciales y comerciales. De conformidad con la Resolución 631 de 2015 expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el caudal de aguas residuales industriales debe separarse en el caudal de aguas residuales domésticas y el caudal de aguas residuales no domésticas. Estas últimas deben clasificarse y tratarse según las disposiciones de la mencionada resolución para ser entregadas a la persona prestadora del servicio de alcantarillado. En cada caso, la persona prestadora del servicio de alcantarillado debe considerar la naturaleza de los residuos industriales, y su aceptación al sistema de alcantarillado estará condicionada por la legislación vigente con respecto a vertimientos industriales, de acuerdo con lo establecido en el Decreto 3930 de 2010 o aquel que lo modifique o sustituya.

Es necesario hacer consideraciones de velocidad mínima con base en el tipo de vertimientos y sustancias presentes para evitar obstrucciones o daños en la red. Sin embargo, para industrias pequeñas localizadas en zonas residenciales o comerciales pueden utilizarse los valores mostrados en la Tabla D.3.2 de caudal por hectárea de área bruta de industria. Q_i debe ser estimado para las condiciones

iniciales, Q_{li} , y finales, Q_{lf} , de operación del sistema, de acuerdo con los planes de desarrollo industrial previstos.

Tabla D.3.2 Contribución de aguas residuales industriales para industrias pequeñas

Nivel de Complejidad del Sistema	Contribución industrial (L/s·ha _{ind})
Bajo	0,4
Medio	0,6
Medio Alto	0,8
Alto	1,0

D.3.3.3.3 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 justificarse a través de un estudio detallado, ya sea de los consumos actuales, de los suscriptores comerciales, 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; ó con base en los consumos diarios por persona, número de personas en áreas comerciales y en coeficientes de retorno mayores que los de consumos domésticos, para aquellos casos en que no exista información comercial de consumos históricos. En caso de que en el área objeto del proyecto existan zonas mixtas, comerciales y residenciales, los caudales comerciales deben estimarse teniendo en cuenta la concentración comercial relativa a la concentración residencial, utilizando una contribución de caudal comercial correspondiente a 0,5 L/s por ha comercial. Debe hacerse la revisión de las captaciones de agua utilizadas por el sector comercio, las cuales no necesariamente provienen del acueducto; pero si pueden estar interesadas en utilizar el sistema de alcantarillado sanitario.

De conformidad con la Resolución 631 de 2015 expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el caudal de aguas residuales comerciales debe separarse en el caudal de aguas residuales domésticas y el caudal de aguas residuales no domésticas. Estas últimas deben clasificarse y tratarse según las disposiciones de la mencionada resolución para ser entregadas a la persona prestadora del servicio de alcantarillado. En el caso de los establecimientos comerciales algunos pueden manejar lavaderos, mantenimientos de carros o patios con lavado de grasas y aceites, por lo cual, también deben remitirse a la Resolución 631 para identificar la clasificación de su actividad comercial y tener en cuenta los contaminantes que deben controlar.

Q_C debe ser estimado para las condiciones iniciales, Q_{Ci} , y finales, Q_{Cf} , de operación del sistema, de acuerdo con los planes de desarrollo comercial que se generen partiendo de los determinantes fijados dentro del plan de ordenamiento territorial del municipio objeto del diseño, o de la región en caso de que éste exista.

D.3.3.3.4 Caudal de aguas residuales institucionales (Q_{IN})

Caudal de El consumo de agua de las diferentes instituciones varía de acuerdo con el tipo y tamaño de las mismas, dentro de las cuales pueden mencionarse escuelas, colegios y universidades, hospitales, hoteles, cárceles, etc. En el capítulo B.2 del Título B del RAS: “*Sistemas de Acueducto*”, se establece su estimación. Debe hacerse la revisión de las captaciones de agua utilizadas por el sector institucional, las cuales no necesariamente provienen del acueducto; pero si pueden estar interesadas en utilizar el sistema de alcantarillado sanitario. En consecuencia, los aportes de aguas residuales institucionales Q_{IN} deben determinarse para cada caso en particular, con base en información de consumos de entidades similares registrados en la localidad. Sin embargo, para pequeñas instituciones ubicadas en zonas residenciales, los aportes de aguas residuales pueden estimarse en 0,5 L/s por ha institucional. El Q_{IN} debe ser estimado para las condiciones iniciales, Q_{INi} , y finales, Q_{INf} , de operación del sistema, de acuerdo con los planes de desarrollo previstos.

De conformidad con la Resolución 631 de 2015 expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el caudal de aguas residuales institucionales debe separarse en el caudal de aguas residuales domésticas y el caudal de aguas residuales no domésticas. Estas últimas deben clasificarse y

tratarse según las disposiciones de la mencionada resolución para ser entregadas a la persona prestadora del servicio de alcantarillado.

D.3.3.3.5 Aguas residuales por conexiones erradas (Q_{CE})

Deben considerarse los aportes de aguas lluvias al sistema de alcantarillado de aguas residuales, provenientes de malas conexiones de bajantes de techados y patios, Q_{CE} . Estos aportes 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 evacuación de aguas lluvias. La información existente en la localidad sobre conexiones erradas debe utilizarse en la estimación de los aportes correspondientes.

Pueden considerarse otros métodos de estimación de conexiones erradas, tales como porcentajes del caudal medio diario de aguas residuales, con justificación por parte del diseñador. Si los aportes por conexiones erradas son notoriamente altos, para **sistemas con niveles de complejidad medio alto y alto**, debe desarrollarse un proyecto de recolección y evacuación de aguas lluvias a mediano plazo (separado o combinado) y, por lo tanto, el diseño del sistema de aguas residuales debe ser consistente con tal previsión. Para **sistemas con niveles de complejidad bajo y medio** es necesario establecer la conveniencia de un sistema de aguas lluvias y tomar por lo menos las medidas de control para reducir el aporte de conexiones erradas.

El caudal de aguas residuales debido a las conexiones erradas debe calcularse para las condiciones iniciales de operación, es decir para el momento de entrada en operación de la red de alcantarillado de aguas residuales objeto del diseño, y para las condiciones finales, correspondientes al final del período de diseño, teniendo en cuenta todo lo establecido en el plan de ordenamiento territorial del municipio.

El aporte máximo de las conexiones erradas a un sistema de alcantarillado de aguas residuales existente o proyectado debe ser de hasta 0,2 L/s por ha en el caso de que en el municipio exista un sistema de alcantarillado de aguas lluvias.

Sin embargo, los aportes máximos anteriormente descritos pueden modificarse para propósitos de diseño, siempre que exista un estudio de campo que justifique la estimación de los caudales de conexiones erradas establecido por las personas prestadoras del servicio de alcantarillado. Por lo tanto, si la persona prestadora del servicio público de alcantarillado tiene registros de la magnitud de los aportes por conexiones erradas en el sistema de recolección de aguas residuales se permite utilizar dicho valor para el diseño.

D.3.3.3.6 Caudales por infiltración (Q_{INF})

Es inevitable la infiltración de aguas subsuperficiales a las redes de sistemas de alcantarillado de aguas residuales, principalmente freáticas, a través de fisuras en las tuberías, en juntas hechas deficientemente, en la unión de tuberías con cámaras de inspección y demás estructuras, y en estos elementos cuando no son completamente impermeables. Su estimación debe hacerse en lo posible a partir de aforos en el sistema en horas cuando el aporte de agua residual es mínimo, y de consideraciones sobre la naturaleza y permeabilidad del suelo, la topografía de la zona y su drenaje, la cantidad y distribución temporal de la precipitación, la variación del nivel freático con respecto a las cotas clave de las tuberías, las dimensiones, estado y tipo de tuberías, los tipos, número y calidad constructiva de uniones y juntas, el número de cámaras de inspección y demás estructuras y, su calidad constructiva. El diseñador debe minimizar los aportes por infiltración.

A lo largo de la vida útil de las redes, el aporte de aguas de infiltración también puede estar asociado con el nivel de amenaza sísmica de la localidad. Se requiere que el diseñador justifique los valores adoptados teniendo en cuenta los factores señalados. En ausencia de medidas directas o ante la imposibilidad de determinar el caudal por infiltración, el aporte puede establecerse con base en los valores dados en la Tabla D.3.3. La categorización de la infiltración en: alta, media y baja, se relaciona con las características topográficas, de suelos, los niveles freáticos y la precipitación de la zona del proyecto.

Tabla D.3.3 Aportes por infiltración en redes de sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales

Nivel de Complejidad del Sistema	Infiltración alta (L/s.ha)	Infiltración media (L/s.ha)	Infiltración baja (L/s.ha)
Bajo y Medio	0,3	0,2	0,1
Medio Alto y Alto *	0,3	0,2	0,1

*Puede ser definido por la persona prestadora del servicio público de alcantarillado

En el caso de ampliaciones de sistemas de alcantarillado de aguas residuales existentes, la infiltración para los tramos que conforman el sistema existente puede ser mayor que lo establecido en la anterior tabla, debido a la edad de las tuberías. En estos casos, debido a que los diámetros de las tuberías ya se conocen, los caudales de infiltración se calculan mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{INF} = C_i \times d \times L \quad (D.3.4)$$

donde:

Q_{INF} = Caudal por infiltraciones (L/día).

C_i = Coeficiente de infiltración (L/día/mm/km). 2,5 si la tubería tiene una edad inferior a los 10 años, 5,0 si la tubería tiene una edad inferior a los 25 años y 10,0 si la tubería tiene una edad mayor a 25 años.

d = Diámetro real interno de la tubería (mm).

L = Longitud de la tubería (km).

Para determinar el caudal de infiltración en las cámaras de inspección y otras estructuras del sistema de alcantarillado existente se debe utilizar la siguiente ecuación:

$$Q_{INF} = 4 \times b \times h \quad (D.3.5)$$

donde:

Q_{INF} = Caudal por infiltraciones (L/h).

b = Diámetro real interno de la estructura (m).

h = Altura de energía en la cámara o estructura (m).

La cantidad de infiltración que se produce en sistemas de alcantarillado depende en gran medida de los defectos en los procesos de instalación. Por lo tanto, las fallas en las juntas de las tuberías, el tipo de conexión y las fallas en las paredes de las estructuras de conexión influyen en la magnitud de este aporte. Si el fabricante de las tuberías o de los elementos del sistema garantiza menores aportes de infiltración que los dados en la Tabla D.3.3 y la persona prestadora del servicio público de alcantarillado los aprueba, se permite utilizar dichos aportes para el diseño.

D.3.3.4 Caudal medio diario de aguas residuales

El caudal medio diario de aguas residuales (Q_{MD}), para un tramo con un área de drenaje dada, es la suma de los aportes domésticos, industriales, comerciales e institucionales.

$$Q_{MD} = Q_D + Q_I + Q_C + Q_{IN} \quad (D.3.6)$$

donde:

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

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

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

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

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

Q_{MD} debe ser estimado para las condiciones iniciales, Q_{MDi} , y finales, Q_{MDf} , de operación del sistema. En los casos donde las contribuciones industriales, comerciales e institucionales sean marginales con respecto a las domésticas, pueden ser estimadas como un porcentaje de los aportes domésticos.

D.3.3.5 Caudal máximo horario final

Con el fin de calcular el caudal máximo horario al final del período de diseño, se debe hacer uso de alguna de las siguientes expresiones, de acuerdo con los parámetros que se tuvieron en cuenta en la estimación del factor de mayoración:

1. Para aquellos casos en que con el fin de estimar el factor de mayoración de aguas residuales domésticas, se haya utilizado como parámetro de cálculo la proyección de la población al período de diseño (ecuación ((D.3.9))), el caudal máximo horario final será igual que:

$$Q_{MHf} = F \times Q_{Df} + Q_{If} + Q_{Cf} + Q_{INf} \quad (D.3.7)$$

donde:

- Q_{MHf} = Caudal máximo horario final (m^3/s).
 F = Factor de mayoración (adimensional).
 Q_{Df} = Caudal de aguas residuales domésticas 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_{INf} = Caudal de aguas residuales institucionales final (m^3/s).

2. En el caso en que el factor de mayoración de aguas residuales domésticas se haya estimado utilizando como parámetro de cálculo el caudal medio final de aguas residuales (Ecuaciones ((D.3.10)), y ((D.3.11))), el caudal máximo horario final será igual que:

$$Q_{MHf} = F \times Q_{MDf} \quad (D.3.8)$$

donde,

- Q_{MHf} = Caudal máximo horario final (m^3/s).
 F = Factor de mayoración (adimensional).
 Q_{MDf} = Caudal medio diario final (m^3/s).

El factor de mayoración del caudal máximo horario de aguas residuales se define a continuación para todos los **niveles de complejidad del sistema**.

D.3.3.5.1 Factor de mayoración

En el factor de mayoración para calcular el caudal máximo horario, utilizando como base el caudal medio diario, se tienen en cuenta las variaciones en el consumo de agua por parte de la población. El factor disminuye en la medida en que el número de habitantes considerado aumenta, pues el uso de agua se hace cada vez más heterogéneo y la red de tuberías puede contribuir cada vez más a amortiguar los picos de caudal. El factor de mayoración debe calcularse, hasta donde sea posible, haciendo uso de mediciones de campo, en donde se tengan en cuenta los patrones de consumo de la población y la medición de los caudales en las horas de mayor consumo. Sin embargo, si esto no es factible, el diseñador puede utilizar la ecuación empírica de Flores en la cual se puede calcular F como función del número de habitantes, este último dado en miles de habitantes.

$$F = \frac{3,5}{P^{0,1}} \quad \text{Flores (-)} \quad (D.3.9)$$

donde:

- F = Factor de mayoración (adimensional).

P = Población servida en miles de habitantes (hab/1000).

Alternativamente el factor de mayoración también puede calcularse como función del caudal medio diario (Q_{MD}) utilizando la ecuación de Los Ángeles, o la de Gaines.

$$F = \frac{3.53}{Q_{MD}^{0.0914}} \quad \text{Los Ángeles (1962)} \quad \text{(D.3.10)}$$

$$F = \frac{3.114}{Q_{MD}^{0.062}} \quad \text{Gaines (1989)} \quad \text{(D.3.11)}$$

donde:

F = Factor de mayoración (adimensional).

Q_{MD} = Caudal medio diario de aguas residuales (L/s).

La fórmula de Los Ángeles es válida para el rango de 2,8 a 28300 L/s. La fórmula de Gaines debe ser aplicada para caudales medios entre 0,28 L/s y 4250 L/s. En general el valor de F debe ser mayor o igual que 1,4. El factor F debe calcularse tramo por tramo de acuerdo con el incremento progresivo de la población y el caudal; sin embargo el máximo valor del factor de mayoración debe limitarse, cualquiera que sea la expresión utilizada para su cálculo, de acuerdo con el tamaño de la población servida como se muestra en la Tabla D.3.4.

Tabla D.3.4 Máximo factor de mayoración de acuerdo con la población servida

Población servida en número de habitantes	Factor de mayoración máximo
< 20.000	3,00
20.000 – 50.000	2,50
50.001 – 750.000	2,25
> 750.000	2,00

D.3.3.6 Caudal de diseño

El caudal de diseño de cada tramo de la red de tuberías se obtiene sumando al caudal máximo horario del día máximo, Q_{MH} , los aportes por infiltraciones y conexiones erradas.

$$Q_{DT} = Q_{MH_f} + Q_{INF} + Q_{CE} \quad \text{(D.3.12)}$$

donde:

Q_{DT} = Caudal de diseño para cada tramo de la red (m^3/s).

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

Q_{INF} = Caudal por infiltraciones (m^3/s).

Q_{CE} = Caudal por conexiones erradas (m^3/s).

Cuando el caudal de diseño calculado en el tramo sea menor que 1,5 L/s, debe adoptarse este último valor como caudal de diseño para dimensionar las tuberías de sistemas de alcantarillado de aguas residuales. Además de los valores anteriores, que corresponden a los valores finales previstos, deben estimarse los valores iniciales de caudal de operación de cada tramo para propósitos de verificación del comportamiento hidráulico del sistema en sus etapas iniciales de servicio, tal como se describe en los siguientes literales.

D.3.3.7 Diámetro interno mínimo

Para las redes de recolección y evacuación de las aguas residuales, la sección más utilizada para las tuberías y tramos, es la sección circular, especialmente en los tramos iniciales. El diámetro interno mínimo permitido en redes de sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales tipo alcantarillado de aguas residuales convencional es de **170 mm**, con el fin de evitar las posibles obstrucciones que ocurran en los tramos, causadas por objetos relativamente grandes que puedan entrar al sistema. Para el caso de alcantarillados en municipios con **sistemas con niveles de complejidad medio y bajo**, el diámetro interno mínimo es de **145 mm**. Sin embargo, cuando se requiera evacuar las aguas residuales de un conjunto de más de 10 viviendas se recomienda que el diámetro interno mínimo sea de **170 mm** para dichos niveles.

D.3.3.8 Relación máxima entre la profundidad y el diámetro de la tubería

En el diseño se debe establecer la profundidad de flujo máxima en cada una de las tuberías, a fin de disminuir el riesgo de sobrecarga y permitir una adecuada aireación de las aguas residuales. El valor máximo permisible para la profundidad de flujo contemplada en el diseño debe ser del 85% del diámetro real interno de cada una de las tuberías. La relación máxima de profundidad versus diámetro, se debe calcular con el caudal máximo de diseño, el cual corresponde al caudal máximo horario calculado de acuerdo con lo señalado en el literal D.3.3.5.

Para aquellas tuberías con diámetros inferiores o iguales a 600 mm que tengan conexiones domiciliarias conectadas directamente al cuerpo de estas, la profundidad máxima debe establecerse, desde la etapa de diseño, de tal forma que el flujo no interactúe con la entrada de agua de dichas conexiones domiciliarias. En este caso la máxima relación profundidad versus diámetro debe ser del 70%. En ningún caso deben realizarse conexiones directas entre tuberías domiciliarias y tuberías de diámetros mayores a 600 mm de la red pública de aguas residuales; en estos casos es recomendable el uso de manijas que lleven el agua residual a la cámara localizada inmediatamente aguas abajo.

D.3.3.9 Velocidades en las tuberías

D.3.3.9.1 Velocidad mínima en las tuberías

La velocidad mínima real permitida para una tubería de diámetro menor a 450 mm en los sistemas de aguas residuales es de 0,45 m/s, probando dicha velocidad para las condiciones encontradas al inicio de operación del sistema para el caudal máximo horario inicial, de acuerdo con las siguientes expresiones:

$$v_{\min} = \frac{Q_{MD_i}}{A} \quad (D.3.13)$$

$$Q_{MH_i} = F \times Q_{D_i} + Q_{I_i} + Q_{C_i} + Q_{IN_i} + Q_{INF} + Q_{CE_i} \quad (D.3.14)$$

$$Q_{MH_i} = F \times Q_{MD_i} \quad (D.3.15)$$

donde:

- v_{\min} = Velocidad mínima inicial (m/s).
- Q_{MH_i} = Caudal máximo horario inicial (m³/s).
- A = Área transversal mojada de la tubería (m²).
- F = Factor de mayoración (adimensional).
- Q_{D_i} = Caudal de aguas residuales domésticas inicial (m³/s).
- Q_{I_i} = Caudal de aguas residuales industriales inicial (m³/s).
- Q_{C_i} = Caudal de aguas residuales comerciales inicial (m³/s).
- Q_{IN_i} = Caudal de aguas residuales institucionales inicial (m³/s).
- Q_{CE_i} = Caudal por conexiones erradas inicial (m³/s).
- Q_{MD_i} = Caudal medio diario inicial (m³/s).

Las ecuaciones ((D.3.14)) y ((D.3.15)) deben utilizarse de acuerdo con las instrucciones establecidas en el literal D.3.3.5 de este título. Esta velocidad inicial determinada mediante la ecuación (D.3.16) debe ser capaz de generar un esfuerzo cortante en la pared de la tubería del alcantarillado de aguas residuales superior o igual que 1,0 Pa. En caso contrario se debe diseñar la tubería de tal forma que se garantice dicho esfuerzo cortante.

La velocidad mínima real permitida para una tubería con un diámetro mayor o igual que 450 mm en el sistema de alcantarillado de aguas residuales debe ser tal, para el caudal máximo horario inicial, que se genere un esfuerzo cortante en el fondo de la tubería de alcantarillado igual o mayor que 1,5 Pa. Tal velocidad de operación se puede calcular mediante la expresión, basada en las ecuaciones de Darcy-Weisbach y de Colebrook-White:

$$v_{\min} = \sqrt{\frac{8\tau_b}{\rho f}} \quad (\text{D.3.16})$$

donde:

- v_{\min} = Velocidad mínima real a tubo lleno para condiciones iniciales (m/s).
- τ_b = Esfuerzo cortante en el lecho de sedimentos en el fondo de la tubería (2 Pa)
- ρ = Densidad del agua residual (kg/m³)
- f = Factor de fricción en el lecho de la tubería (adimensional)

A su vez el factor de fricción en el lecho de sedimentos del fondo de la tubería se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$f = \frac{1}{4 \left[\log_{10} \left(\frac{k_b}{3.7d} \right) \right]^2} \quad (\text{D.3.17})$$

donde:

- d = Diámetro real interno de la tubería a probar (mm).
- k_b = Mínima rugosidad del lecho⁴ igual que 1,23 mm.

Para **sistemas con nivel de complejidad alto**, es responsabilidad de la persona prestadora del servicio público de alcantarillado determinar el diámetro típico de los sedimentos en su red de alcantarillado, con base en pruebas granulométricas.

D.3.3.9.2 Velocidad máxima en las tuberías

En el diseño de las redes de alcantarillado de aguas residuales se debe establecer siempre un valor máximo de velocidad permisible. Estos valores máximos deben quedar plenamente justificados en los diseños, teniendo en cuenta las características de los materiales que conforman las tuberías, las características abrasivas de los materiales arrastrados por las aguas residuales y la turbulencia del flujo.

Los valores de la velocidad máxima permisible deben justificarse, nuevamente en la etapa de diseño, teniendo en cuenta los manuales técnicos de los fabricantes de las tuberías, y deben ser aprobados por la persona prestadora del servicio público de alcantarillado. La información de soporte debe quedar disponible para la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios -SSPD.

En general, se recomienda que la velocidad máxima sea de 5 m/s. Si el diseñador decide adoptar un mayor valor, dicho valor debe justificarse técnicamente y debe contar con la aprobación previa por la persona prestadora del servicio público de alcantarillado.

En todo caso, cuando la velocidad máxima del flujo en una tubería sea mayor a 4 m/s, en el diseño se debe tener en cuenta el potencial desgaste por erosión de los tramos del sistema y de las estructuras de

⁴ Ackers, J.C., Butler, D. and May, R.W.P. (1996) Design of Sewers to Control Sediment Problems, Report R141, CIRIA, London.

conexión y/o inspección. También se deben tener en cuenta las recomendaciones dadas por los fabricantes para las estructuras de conexión y las uniones de las tuberías. Como alternativa de solución pueden plantearse estructuras de caída y/o disipación de energía en algunos puntos del sistema, tal como se indica en el capítulo D.7 de este título, en caso de que se prefiera limitar la velocidad a 4 m/s.

D.3.3.10 Pendientes de las tuberías

D.3.3.10.1 Pendiente mínima de las tuberías

El valor de la pendiente mínima de cada tubería debe corresponder con aquel que permita tener condiciones de autolimpieza y que minimice la producción de gas sulfuro de hidrógeno, de acuerdo con lo establecido en los literales D.3.3.9.1 y D.3.3.13 de este título.

D.3.3.10.2 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 de acuerdo con el literal D.3.3.9.2 de este título.

D.3.3.11 Profundidades de instalación de las tuberías

D.3.3.11.1 Profundidad mínima a la cota clave de las tuberías

Los tramos de redes de recolección y evacuación de aguas residuales deben estar a una profundidad adecuada para permitir el drenaje por gravedad de las descargas domiciliarias sin sótano, aceptando una pendiente mínima de estas de 2%. Además, el cubrimiento mínimo del tramo debe evitar la ruptura de éste, ocasionada por cargas vivas que pueda experimentar. Los valores mínimos permisibles de cubrimiento de las tuberías se definen en la Tabla D.3.5.

Tabla D.3.5 Profundidad mínima de instalación de tuberías en sistemas de alcantarillado

Servidumbre	Profundidad a la cota clave del tramo (m)
Vías peatonales o zonas verdes	0,75
Vías vehiculares	1,20

Para casos especiales como localidades con evidentes problemas de drenaje, los valores anteriores pueden reducirse haciendo las previsiones estructurales y geotécnicas correspondientes. Las conexiones domiciliarias y las tuberías de aguas residuales deben localizarse por debajo de las tuberías de acueducto. El tipo de cimentación y relleno debe estar de acuerdo con lo estipulado en el Título G del RAS: “*Aspectos Complementarios*”.

Adicionalmente, las profundidades de instalación antes establecidas podrán ser inferiores cuando las pendientes disponibles y los puntos de entrega de colectores e interceptores así lo requieran; en tal caso el diseñador debe justificar los diseños estructurales, teniendo en cuenta todas las cargas vivas y especificando las protecciones estructurales necesarias y/o los materiales y tipos de tuberías que absorban dichas cargas.

D.3.3.11.2 Profundidad máxima a la cota clave de las tuberías

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, de las uniones y de los materiales con los cuales están fabricadas. En el diseño se deben garantizar los requerimientos geotécnicos de las cimentaciones y los requerimientos estructurales de los materiales de la tubería durante y después de la construcción, para lo cual se deben tener en cuenta las especificaciones dadas en los capítulos G.2 y G.3 del Título G del RAS: “*Aspectos Complementarios*”.

Por lo general, se estima que el límite técnico-económico de instalación de tuberías en un sistema de alcantarillado a través de la metodología de excavación con zanja abierta, está alrededor de los 5,0 m de profundidad, aunque las técnicas de instalación utilizando perforación dirigida, microtunelización, etc., pueden permitir profundidades mayores. Independientemente de lo anterior, en el diseño se deben

verificar todos los requerimientos técnicos establecidos en el Título G del RAS: "Aspectos Complementarios".

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

D.3.3.12 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 también debe tener en cuenta lo establecido por los manuales técnicos de los fabricantes de las tuberías.

En aquellos casos especiales en que las tuberías de alcantarillado se encuentren presurizadas, tal como es el caso de los sifones invertidos, se deben considerar anclajes especiales en las estructuras de entrada y salida y en los codos que existan en la zona presurizada, a fin de soportar las fuerzas hidrodinámicas correspondientes.

D.3.3.13 Control de olores, sulfuros y corrosión en las tuberías

En el diseño se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones establecidas en relación con la formación de sulfuros, por cuanto su presencia en ciertas concentraciones ó bajo ciertas circunstancias, puede representar riesgos ocupacionales para las personas que realizan el mantenimiento a las redes, perjudicar procesos de tratamiento o causar corrosión 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, en el diseño se debe asegurar el control de la formación de sulfuros 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 la relación P/b en conductos circulares equivale a disminuir la profundidad de flujo uniforme para el diseño. Para sistemas con nivel de complejidad alto, en el diseño se deben incluir los respectivos cálculos que permitan estimar la generación y liberación de gases de sulfuro de hidrógeno, para retroalimentar los demás elementos del sistema que requieran esa información para su diseño.

Con el fin de conocer la posibilidad de generación de H₂S se debe calcular el valor del indicador de Pomeroy mostrado a continuación:

$$Z = (3(\text{DBO}_5) (1,07)^{(T-20)}) / (S^{0,5} Q^{(1/3)}) (P/b) \quad (\text{D.3.18})$$

donde:

Z = Factor de Pomeroy (adimensional).

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

T = Temperatura del agua (°C).

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

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 H₂S es poco probable y no se requiere realizar cálculos adicionales.

En caso contrario, para estimar la cantidad de formación y generación de sulfuros se debe seguir la metodología completa de Pomeroy – Parkhurst, contenida en el manual de la EPA/625/1-85/018 “Odor and corrosion control in sanitary sewerage systems and treatment plant – Design Manual” y/o en las Normas Técnicas Colombianas vigentes sobre la materia.

Las bacterias contenidas en las aguas residuales pueden reducir los sulfatos contenidos en éstas cuando se presentan condiciones anaeróbicas, a ácido sulfhídrico (H₂S), el cual puede salir del agua para ciertas condiciones de pH 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 H₂S puede ser oxidado por bacterias aeróbicas para producir ácido sulfúrico el cual tiene el poder de corroer los sistemas en unos materiales más que en otros.

Para evaluar la corrosión esperable en la vida útil de una tubería y las posibles soluciones que existen para este fenómeno, se debe consultar el manual de diseño de la EPA mencionado y/o en las Normas Técnicas Colombianas vigentes sobre la materia.

Las tuberías y los accesorios de los sistemas de alcantarillado de aguas residuales deben cumplir con el Reglamento Técnico de Tuberías (Resoluciones 1166 de 2006 y 1127 de 2007 expedidas por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial o las normas que las modifiquen o sustituyan), en particular lo referente a la resistencia química que deben tener estos componentes del sistema de alcantarillado.

D.3.3.14 Formación de sulfuros en tuberías presurizadas o con alta profundidad de flujo

En los sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales, cuando las aguas residuales no tienen contacto con el aire se presenta tendencia a la generación de sulfuros. Cuando las aguas residuales tienen un pH de 5 existen las mayores proporciones de H₂S, mientras que para un pH de 9 este compuesto se encuentra inhibido ya que se encuentra en forma de ión sulfuro (HS⁻). La formación de sulfuro en tuberías presurizadas, particularmente en aquellas situaciones relacionadas con bombeos de agua residual, puede prevenirse mediante la inyección de aire comprimido en la descarga de la bomba. La cantidad de aire a suministrar debe ser determinada adecuadamente para cada situación en particular, aplicando el balance estequiométrico respectivo y la eficiencia de la reacción..

Las altas profundidades de flujo, por lo general mayores al 75% del diámetro real interno de las tuberías, tienden a una mayor generación de sulfuros que el promedio de profundidades en sistemas de alcantarillado de aguas residuales, fenómeno que puede ser minimizado ajustando el diseño de las tuberías verificando el índice de Pomeroy descrito en el literal D.3.3.13 con el fin de disminuir la profundidad de flujo cuando esto sea económicamente factible.

D.3.4 ASPECTOS DE LA PUESTA EN MARCHA

Una vez se haya finalizado la etapa de construcción de la red, la persona prestadora del servicio público de alcantarillado debe asegurar la realización, por parte del constructor, de las pruebas descritas en los literales D.3.4.1 a D.3.4.4 de este título. La persona prestadora del servicio público de alcantarillado debe asegurar, antes de que el sistema entre en operación definitiva, que todas las pruebas estén de acuerdo con el protocolo de pruebas establecido por el diseñador tal como se establece en el literal D.2.4 de este título.

Además de las pruebas realizadas y detalladas en el protocolo de pruebas preparado por el diseñador, una vez que haya finalizado el proceso de construcción, deben realizarse unas pruebas preliminares en las condiciones normales y críticas de operación, con el fin de detectar posibles errores y tomar las medidas correctivas, antes de entregar la red de alcantarillado de aguas residuales a disposición del sistema de alcantarillado.

D.3.4.1 Inspecciones preliminares a la red de alcantarillado

El diseño debe establecer las inspecciones mínimas de tipo constructivo que deban realizarse una vez construido el sistema, teniendo en cuenta los manuales y especificaciones que pueda tener al respecto la persona prestadora del servicio público de alcantarillado o personas prestadoras de carácter regional. Antes de la entrada en operación de un sistema de recolección y evacuación de aguas residuales del que se haya finalizado su construcción, se deben realizar las pruebas establecidas en el diseño.

Como parte de su trabajo, se recomienda al diseñador realizar inspecciones mínimas con circuito cerrado de televisión (CCTV) como un porcentaje de la longitud total de las tuberías instaladas, a un sistema de alcantarillado nuevo o a la ampliación de un sistema existente, teniendo en cuenta el diámetro de las tuberías, su pendiente, su material, sus uniones, etc. En todo caso, dicho porcentaje no puede ser inferior al 15% de las tuberías nuevas instaladas. Las inspecciones con CCTV, deben ser entregadas en forma digital a la persona prestadora del servicio público de alcantarillado con el fin de ser guardadas en las bases de datos de la persona prestadora del servicio público de alcantarillado y estar disponibles en caso que sean requeridas para la realización de un plan de rehabilitación de la red de alcantarillado o sean solicitadas por parte de la SSPD. En el diseño se debe recomendar la clase de equipo que debe utilizarse de acuerdo con el diámetro de las tuberías y especificar qué zonas de la red deben priorizarse para este tipo de inspecciones.

Esta medida se recomienda para **sistemas con nivel de complejidad bajo**. Para los demás **sistemas** es obligatorio.

D.3.4.2 Ensayo de infiltración

En los **sistemas** de todos los **niveles de complejidad** se debe realizar el ensayo de infiltración, el cual es apropiado cuando el nivel freático está por encima de la cota clave de la tubería, idealmente 1 m o más. El tramo es aislado aguas arriba y se mide el caudal infiltrado aguas abajo mediante un vertedero. El criterio de aceptación está representado por un rango de valores de infiltración que puede estar entre 10 y 20 litros por milímetro de diámetro, por kilómetro de longitud de tramo y por día. La estanqueidad también debe ser verificada en las cámaras de inspección o estructuras de conexión (norma técnica NTC 3676). Para esto, la cámara debe ser aislada de los tramos afluentes y efluente y se registra el aumento de nivel de agua dentro de éste. La infiltración máxima debe ser de 5 litros por hora por metro de diámetro de la cámara y por metro de altura de agua. Los tramos y cámaras a ensayar deben escogerse aleatoriamente pero verificando que puedan ser correctamente aislados y su número debe ser el mínimo para disponer de información representativa, el cual es función de la longitud total de la red de alcantarillado construida.

D.3.4.3 Ensayo de exfiltración

Si el nivel freático está bajo, la impermeabilidad se puede establecer aislando el tramo, llenando éste de agua hasta un nivel predeterminado y estableciendo su tasa de descenso durante un período razonable de tiempo. De manera similar se debe proceder para las cámaras de inspección. Los criterios de aceptación son los mismos que los de infiltración. Las normas ASTM C 969-02 y ASTM C 1091 establecen los requerimientos para los ensayos de infiltración y exfiltración para tuberías de concreto y de gres. Es necesario realizar el ensayo en los **sistemas** de todos los **niveles de complejidad**.

D.3.4.4 Ensayo de hermeticidad con aire

Como alternativa a los ensayos de infiltración y exfiltración pueden implementarse ensayos de hermeticidad con aire a baja presión o presión negativa, cumpliendo las normas técnicas nacionales, o en su defecto internacionales, correspondientes. En la Tabla D.3.5 se relacionan algunas normas técnicas nacionales e internacionales relacionadas con estos ensayos.

Tabla D.3.5 Normas técnicas de ensayos de hermeticidad con aire

Tipo de tubería	Norma ICONTEC	Norma Internacional
Concreto		ASTM C 924-02 ASTM C 924 M-02 ASTM C 1214-02 ASTM C 1214 M-02
Arcilla vitrificada (gres)		ASTM C 828-06
Plástico		ASTM F 1417-92
Cámaras de inspección	NTC 4223	

D.3.5 ASPECTOS DE LA OPERACIÓN

En este literal se establecen algunos aspectos del diseño relacionados con la operación, el control y el seguimiento de las redes de alcantarillado de aguas residuales. Dichos aspectos deben quedar perfectamente establecidos desde la etapa de diseño y es responsabilidad del diseñador hacerlos conocer en sus memorias de cálculo e informe final de diseño.

D.3.5.1 Mediciones e instrumentación

Las mediciones de caudales en la red de tuberías de aguas residuales y lluvias constituyen uno de los elementos más importantes para el seguimiento del comportamiento del sistema, el cual es necesario conocer para corregir las anomalías que se puedan presentar, para llevar un control de vertimientos y para contribuir a una mejor estimación de los diferentes parámetros utilizados en los diseños. Estas mediciones deben hacerse no solamente en términos de cantidad sino también de calidad del agua. Para esto, se deben establecer los métodos de medición más apropiados para el sistema en particular en función de la tecnología disponible y de la capacidad económica de la población. En cuanto a mediciones de calidad del agua, éstas se deben regir por los requerimientos de la normativa vigente sobre vertimientos y descargas para la disposición de aguas residuales, principalmente los requerimientos establecidos en el plan de saneamiento y manejo de vertimientos del municipio o localidad. Independientemente de lo anterior, es necesario hacer mediciones en algunos puntos de la red, de acuerdo con los lineamientos mínimos que se presentan en la Tabla D.3.6.

Tabla D.3.6 Requerimientos mínimos de mediciones de cantidad y calidad de aguas residuales y lluvias

Nivel de Complejidad del Sistema	Frecuencia mínima de medición	
	Cantidad de agua	Calidad de agua
Bajo y Medio	Cada dos años	Cada dos años
Medio Alto	Cada dos años	Cada dos años
Alto	Anual	Cada dos años

En los **sistemas con niveles de complejidad bajo y medio**, la periodicidad de las mediciones debe ser bianual en 1 o 2 puntos de control del emisario final. En **sistemas con nivel de complejidad medio alto** la periodicidad de las mediciones debe ser bianual en puntos estratégicos de control (subáreas de drenaje) en tramos principales y emisarios. En **sistemas con nivel de complejidad alto**, la periodicidad de las mediciones debe ser anual en puntos estratégicos de control (subáreas de drenaje) en tramos principales y emisarios por medio de mediciones automáticas y telemetría, recomendada en algunos puntos, y adicionalmente se debe tener en cuenta lo establecido en el literal D.2.9.5 de este título.

En el diseño también se deben establecer: el nivel de mediciones, el tipo de aparatos a ser utilizados y su localización dentro de la red de alcantarillado. También se debe establecer la precisión de los caudalímetros y de los medidores de nivel, en conjunto con la frecuencia de toma de datos.

D.3.5.2 Control de gases

Los olores y gases en los sistemas de aguas residuales pueden ser controlados mediante buenos diseños, suministrando ventilación y aireación. Los valores de emisión deben estar acordes con la normativa aplicable al respecto, Resolución 601 de 2006 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial o la norma que la modifique o sustituya. De acuerdo con el literal D.3.3.13 los

sulfuros están asociados a redes de tuberías donde la velocidad de flujo es baja y los tiempos de conducción son largos y donde el contacto con el aire es reducido e intermitente. Lo correcto es diseñar sistemas donde la producción de gases sea minimizada seleccionando adecuadamente las pendientes y diámetros, y estableciendo puntos de generación de turbulencia para la aireación del flujo. Igualmente, es necesario establecer la necesidad de ubicar chimeneas de ventilación y definir la localización de las mismas dentro del diseño. La ventilación mecánica con aireadores debe estar provista cada vez que trabajadores entren para inspección y mantenimiento a la red, los cuales deben cumplir con las normas de seguridad industrial correspondientes.

En **sistemas con nivel de complejidad alto** se debe disponer de medidores de gases para controlar la concentración de gases a que se exponen los trabajadores y controlar la emisión de olores a la comunidad.

D.3.5.3 Control de vertimientos industriales y comerciales

En el caso de vertimientos industriales y comerciales, la persona prestadora del servicio público de alcantarillado debe otorgar previamente los permisos correspondientes para los vertimientos de aguas industriales al sistema, desde la etapa de diseño, y debe establecer las medidas de control y seguimiento de los vertimientos correspondientes, teniendo en cuenta el plan de saneamiento y manejo de vertimientos vigente para el municipio y las concentraciones de contaminantes que podrían perjudicar la operación del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, si existe. Es obligación del diseñador incluir estos aspectos en el diseño definitivo de la red de alcantarillado de aguas residuales y presentar un inventario de las industrias que se conectarán a la nueva red de alcantarillados.

D.3.5.4 Mediciones de calidad del agua

Las mediciones de caudales y calidad del agua en la red de alcantarillado de aguas residuales constituye uno de los elementos más importantes para el seguimiento del comportamiento hidráulico del sistema, el cual es necesario para propósitos de diseño y para llevar control de los vertimientos que conduzca a una mejor estimación de los diferentes parámetros a ser utilizados en diseños futuros.

El diseñador debe establecer, por consiguiente, el tipo de mediciones de calidad del agua que deben realizarse para una red en particular. Se deben establecer los métodos de medición más apropiados para el sistema en función de la tecnología disponible. Por lo menos se deben hacer mediciones de DQO, de DBO, de sólidos suspendidos totales, de temperatura, de pH y de conductividad del agua. Las mediciones de calidad del agua se deben regir por los requerimientos de la normativa vigente sobre vertimientos y descargas para la disposición de aguas residuales.

D.3.5.5 Uso de tecnologías de información para la operación

Para **sistemas con nivel de complejidad alto**, y como recomendación para **sistemas con nivel de complejidad medio alto**, una vez finalizado el diseño de una red de alcantarillado de aguas residuales, el diseñador debe establecer la forma de verificación hidráulica permanente del sistema. Para esto debe establecer una serie de caudales dados, y haciendo uso del modelo hidráulico de la red de alcantarillado, establecer unos puntos específicos en los cuales se deben conocer los niveles de flujo.

En el diseño se debe establecer la forma de comparar el resultado del modelo hidráulico de la red de alcantarillado con las medidas tomadas en campo, y establecer las diferencias máximas entre dichas medidas para aceptar las pruebas. Además de ser utilizados durante la etapa de diseño, los modelos hidráulicos de la red de alcantarillado de aguas residuales, para aquellas personas prestadoras del servicio de alcantarillado correspondiente a municipios con **sistemas con niveles de complejidad medio alto y alto**, deben utilizarse para establecer reglas de operación de la red para diferentes escenarios. En este caso, en el diseño se deben establecer los puntos de medición de caudales y niveles de agua en las tuberías en diferentes partes de la red, con el fin de poder hacer seguimiento de la hidráulica real del sistema. En estos casos también se recomienda hacer un seguimiento de la evolución de la calidad del agua en el sistema de alcantarillado de aguas residuales.

D.3.5.6 Calibración de la red de alcantarillado para la operación

Para **sistemas con nivel de complejidad alto**, y como recomendación para **sistemas con nivel de complejidad medio alto**, en aquellos casos en que la red de alcantarillado de aguas residuales objeto del diseño forme parte de un sistema existente y pueda llegar a afectar en forma significativa la hidráulica de la red existente, el diseñador debe verificar a través de un modelo hidráulico calibrado la capacidad de dicha red, con el fin de establecer y verificar las nuevas condiciones hidráulicas de operación. En caso que dicho modelo calibrado no exista, en el diseño se debe establecer una forma de calibración de la red existente estimando los coeficientes de rugosidad absoluta y los diámetros internos reales de las tuberías que conforman el sistema existente. Para esto, en el diseño se deben establecer los puntos y forma de medición de caudales y niveles de aguas residuales y la forma de utilizar el modelo hidráulico de la red existente para establecer su calibración. En todos los casos, el modelo hidráulico de la red existente debe basarse en las ecuaciones de Saint-Venant y debe tener capacidad de realizar análisis de flujo no permanente.

Se sugiere que las personas prestadoras del servicio de alcantarillado, en particular para los **sistemas con niveles complejidad medio alto y alto**, hagan uso de los modelos calibrados entregados por los diseñadores, con el fin de mantener modelos calibrados de todas las redes principales del sistema de alcantarillado, a las cuales se considera que se pueden conectar, en el futuro, nuevas redes o ampliaciones a redes de alcantarillado de aguas residuales.

D.3.6 ASPECTOS DEL MANTENIMIENTO

Para el mantenimiento de las redes de alcantarillado de aguas residuales, en el diseño se deben tener en cuenta los aspectos mostrados en los literales D.3.6.1 a D.3.6.6. En aquellos municipios correspondientes al **nivel de complejidad del sistema alto**, en los que existan sistemas de gestión de calidad, se podrá seguir lo establecido en dicho sistema por la correspondiente persona prestadora del servicio público de alcantarillado. Sin embargo, cuando los aspectos de mantenimiento no se encuentren específicamente detallados para las zonas del proyecto, se recomienda la aplicación de los siguientes literales.

D.3.6.1 Manual de mantenimiento

Se debe generar un manual de mantenimiento donde se incluya el programa rutinario de labores de inspección, mantenimiento preventivo y reparación, determinando una serie de actividades diarias, semanales, mensuales y anuales. Para los **sistemas** de todos los **niveles de complejidad**, la persona prestadora del servicio público de alcantarillado debe redactar y mantener actualizado el manual de mantenimiento de las redes, en el que se debe incluir como mínimo lo establecido en los siguientes literales.

D.3.6.2 Programas de mantenimiento

Para los **sistemas** de todos los **niveles de complejidad**, se deben tener programas de mantenimiento preventivo periódico y programas de mantenimiento correctivo obligatorio de tuberías, estructuras de unión y demás elementos de un sistema de recolección y evacuación de aguas residuales. El mantenimiento preventivo debe ser el resultado de un programa de inspección rutinaria del sistema que permita detectar con anticipación puntos potencialmente críticos.

De acuerdo con el **nivel de complejidad del sistema**, en el mantenimiento se deben seguir los siguientes requerimientos:

1. Para todos **sistemas** debe ejecutarse un programa de mantenimiento preventivo.
2. Para todos los **sistemas** las labores de mantenimiento de todo equipo electromecánico deben ser preferiblemente preventivas.
3. Para los **sistemas con niveles de complejidad medio alto y alto** las labores de mantenimiento deben ser preventivas.

D.3.6.3 Mantenimiento preventivo y correctivo

Como parte del diseño de una red de alcantarillado de aguas residuales, debe quedar establecido el programa de mantenimiento preventivo y correctivo de las tuberías, de las cámaras de unión, de las cámaras de inspección, de las cámaras de caída y de los demás elementos que conforman la red de alcantarillado de aguas residuales. El diseñador debe enfatizar el establecimiento de los puntos críticos del sistema, con el fin de que la persona prestadora del servicio público de alcantarillado los incluya en los planes operativos normales de mantenimiento.

Para casos de emergencia, en el diseño también se deben establecer los materiales que deben estar disponibles en las bodegas y talleres de las personas prestadoras del servicio, dando énfasis a instituciones regionales para **sistemas con nivel de complejidad bajo**. En aquellos casos en que en el diseño se detecten daños eventuales que interfieran notablemente en el funcionamiento hidráulico óptimo del sistema, se debe contar con los materiales específicos, en los talleres o bodegas de las personas prestadoras del servicio de alcantarillado.

Como parte del diseño de una red de alcantarillado de aguas residuales se debe especificar el tipo de mantenimiento correctivo que se debe hacer a los elementos del sistema cuando se presentan fallas hidráulicas en éste. Para esto, en caso de que existan registros de daños de la red, el diseñador los debe tener en cuenta, al igual que la información clasificada derivada de las inspecciones realizadas a la red de alcantarillado. Teniendo en cuenta lo anterior, en el diseño se deben establecer el tipo de maquinaria y la forma de hacer el mantenimiento correctivo, teniendo en cuenta siempre los manuales y reglamentos de operaciones que existan en las personas prestadoras del servicio de alcantarillado.

D.3.6.4 Monitoreo

Con el fin de facilitar las labores de mantenimiento del sistema de alcantarillado de aguas residuales, en el diseño se debe recomendar el tipo de monitoreo del sistema. Para esto, y para **sistemas con nivel de complejidad alto** y como recomendación para **sistemas con nivel de complejidad medio alto**, se debe tener en cuenta el registro de daños en la red de alcantarillado y toda la información clasificada derivada de las inspecciones realizadas a la red, y que se encuentren en los sistemas de información de la persona prestadora del servicio público de alcantarillado. En el caso de sistemas nuevos, en el diseño se deben establecer los puntos de medición de caudales y niveles con el fin de facilitar las labores de monitoreo por parte de la persona prestadora del servicio público de alcantarillado, para hacer seguimiento de la hidráulica del sistema. En el diseño se debe establecer el tipo de aparatos de medición, su localización, su instalación dentro de las tuberías y/o cámaras, la precisión de los aparatos de medición y la frecuencia de medición.

En particular, en el diseño se deben especificar aquellas variables que deben medirse con el fin de que sean útiles para diseños futuros, tales como caudales de infiltración, caudales institucionales, caudales industriales y caudales de abatimiento del nivel freático.

D.3.6.5 Limpieza de redes

La limpieza de redes mediante equipos especiales debe estar dentro de los planes de mantenimiento preventivo. En relación con los **niveles de complejidad del sistema**, la disponibilidad de equipos de limpieza y la frecuencia mínima de inspección para mantenimiento preventivo se especifican en la Tabla D.3.7, sin olvidar la necesidad de atender esta actividad de manera correctiva cuando se presenten fallas hidráulicas, de acuerdo con el numeral D.3.6.3 de mantenimiento preventivo y correctivo.

Tabla D.3.7 Mantenimiento mínimo según los niveles de complejidad del sistema

Nivel de Complejidad del Sistema	Frecuencia mínima de inspección
Bajo y Medio	3 años
Medio Alto	2 años
Alto	1 año

Las frecuencias de inspección mayores a las señaladas en la tabla que resulten del análisis de los casos específicos de la localidad deben quedar incluidas en el manual de mantenimiento.

El diseño de las labores de limpieza y la selección de los equipos mínimos estarán definidos por la disponibilidad de equipos existente en la persona prestadora del servicio público de alcantarillado. A su vez, los equipos deben cumplir con los requerimientos mínimos definidos para el mantenimiento preventivo y correctivo del sistema y deben cumplir con la continuidad del servicio de acuerdo con lo señalado en el literal D.3.6.6.

El mantenimiento en sistemas de alcantarillado de aguas residuales debe concentrarse en los tramos y cámaras principales, y dentro de estos últimos en las cámaras previas a estructuras especiales como sifones y estructuras complementarias. En los **sistemas** de todos los **niveles de complejidad**, debe restringirse la siembra de árboles con potencial dañino en zonas donde se encuentren tuberías de la red de alcantarillado a una distancia menor que 2 m. La penetración de raíces en las tuberías puede prevenirse con la aplicación periódica de herbicidas, los cuales deben estar disponibles permanentemente para los **sistemas** de todos los **niveles de complejidad**.

La disposición de los residuos resultantes de las actividades de mantenimiento debe realizarse dando cumplimiento a lo definido en el Decreto 1713 de 2002, Decreto 4741 de 2005 o el Decreto 3930 de 2010, a aquellas normas que los modifiquen o sustituyan y aplicando lo definido en el Título I del RAS.

D.3.6.6 Disponibilidad de repuestos y suspensión del servicio

La disponibilidad de materiales para casos de emergencias debe ser de la siguiente manera según el **nivel de complejidad del sistema**:

1. Para los **sistemas con niveles de complejidad bajo y medio**, no es necesaria la disponibilidad de materiales en general en la zona.
2. Para los **sistemas con niveles de complejidad medio alto y alto**, es necesaria la disponibilidad de materiales específicos en sitios donde daños eventuales puedan interferir notablemente en el funcionamiento óptimo del sistema.

Durante las labores de limpieza deben tenerse en cuenta los siguientes requisitos mínimos con respecto al plazo de disponibilidad de repuestos:

1. Para **sistemas con nivel de complejidad bajo**, la consecución y localización *in situ* de los repuestos debe hacerse en una semana como máximo.
2. Para **sistemas con nivel de complejidad medio**, la consecución y localización *in situ* de los repuestos necesarios debe hacerse en tres días como máximo.
3. Para **sistemas con nivel de complejidad medio alto**, la consecución y localización *in situ* de los repuestos requeridos por el mantenimiento debe hacerse en un día como máximo.
4. Para **sistemas con nivel de complejidad alto**, la consecución y localización *in situ* de los repuestos debe ser inmediata para aquellos que impliquen la suspensión del servicio. Para los repuestos que no impliquen suspensión del servicio, la consecución y localización *in situ* debe hacerse en un día como máximo.

Adicionalmente, para la implementación de los repuestos, se debe tener en cuenta lo establecido en los catálogos de los fabricantes de tuberías referente a la correcta instalación de los repuestos, de acuerdo con el Reglamento Técnico de Tuberías (Resoluciones 1166 de 2006 y 1127 de 2007, expedidas por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial o las normas que las modifiquen o sustituyan).

D.3.7 REHABILITACIÓN DE REDES

De acuerdo con los resultados obtenidos en las inspecciones, y como complemento a los mantenimientos preventivos y correctivos, la persona prestadora del servicio público de alcantarillado decidirá cuándo realizar proyectos de rehabilitación de tramos o sectores de la red de alcantarillado. La rehabilitación del sistema de alcantarillado debe constar por lo menos del siguiente procedimiento:

1. Inspección del sistema.
2. Evaluación de la capacidad hidráulica y estado estructural de los tramos inspeccionados.

RAS. Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales Domésticas y Aguas Lluvias

3. Establecimiento de tramos prioritarios (aquellos que requieran reemplazo o renovación).
4. Evaluación de soluciones, previa generación de alternativas técnicamente y económicamente viables.
5. Selección de la alternativa definitiva.
6. Ejecución del proyecto.
7. Verificación de resultados y actualización de la información acerca del estado de la capacidad hidráulica y estructural de los tramos rehabilitados.

El procedimiento implementado debe mostrar concordancia con lo expuesto en el literal D.1.4 y con todos los aspectos de operación y mantenimiento definidos en los literales D.3.5 y D.3.6 de este título.

CAPÍTULO D.4

D.4. REDES DE ALCANTARILLADO DE AGUAS LLUVIAS

D.4.1 ALCANCE

En este capítulo se establecen las condiciones para la definición y estimación de los parámetros de diseño que deben considerarse en el proceso de diseño de sistemas de recolección, de sistemas de retención y de sistemas de evacuación de aguas lluvias. También se incluyen aspectos y parámetros referentes a la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento de dichos sistemas. Posteriormente en el capítulo D.6 se establece la forma de cálculo hidráulico de estos sistemas de alcantarillado.

D.4.2 CONCEPCIÓN DEL PROYECTO

Los aspectos generales para la concepción de proyectos de recolección y evacuación de aguas lluvias deben identificarse y justificarse de acuerdo con lo señalado en el capítulo A.4 del Título A del RAS: "*Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico*". Los sistemas de recolección y evacuación de aguas lluvias pueden proyectarse cuando las condiciones propias de drenaje de la localidad requieran una solución a la evacuación de la escorrentía pluvial. No necesariamente toda población o sector requiere un sistema de aguas lluvias. Dependiendo de las condiciones topográficas, tamaño de la población, las características de las vías, la estructura y desarrollo urbano, entre otras, la evacuación de la escorrentía podría lograrse satisfactoriamente a través de las cunetas de las calles. Donde sea necesario, estos sistemas pueden abarcar la totalidad de la población o solamente los sectores con problemas de inundaciones.

Los sistemas de recolección y evacuación de aguas lluvias pueden ser proyectados y construidos para:

1. Permitir una rápida evacuación de la escorrentía de aguas lluvias de las vías públicas.
2. Evitar la generación de caudales excesivos en las calzadas.
3. Evitar la invasión de aguas lluvias a propiedades públicas y privadas.
4. Evitar la acumulación de agua en vías de tránsito.
5. Evitar la paralización del tráfico vehicular y peatonal durante un evento fuerte de precipitación.
6. Evitar las conexiones erradas del sistema de recolección y evacuación de aguas residuales.
7. Mitigar efectos nocivos a cuerpos de agua receptores por contaminación de escorrentía de aguas lluvias urbanas.

Los siguientes son algunos de los factores que deben ser considerados en el estudio de los problemas de recolección y evacuación de aguas lluvias en áreas urbanas:

1. Tráfico peatonal y vehicular.
2. Valor de las propiedades sujetas a daños por inundaciones.
3. Análisis de soluciones con canales abiertos o conductos cerrados.
4. Profundidad de las tuberías.

En la elaboración de un proyecto de sistemas de recolección y evacuación de aguas lluvias es necesaria la consideración económica. La selección de los períodos de retorno que deben adoptarse en el proyecto es función de la ocurrencia de eventos de precipitación y debe representar un balance entre los costos de construcción y operación y los costos esperados por daños y perjuicios por inundación para el período de diseño. La capacidad de recolección de aguas lluvias del conjunto de sumideros debe ser consistente con la capacidad de evacuación de la red de tuberías para garantizar que el caudal de diseño efectivamente llegue a la red de evacuación.

D.4.3 PARÁMETROS DE DISEÑO

Los parámetros de diseño constituyen los elementos básicos para el diseño de sistemas de recolección y evacuación de aguas lluvias. En este literal se establecen las condiciones para su definición y estimación. Es función del Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio y de la Junta Técnica Asesora del RAS establecer los mecanismos, procedimientos y metodologías para la revisión y actualización de los parámetros de 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.

D.4.3.1 Período de diseño

Para el diseño de los sistemas de alcantarillado de aguas lluvias, se debe tener en cuenta tanto el período de diseño como el período de retorno de la lluvia de diseño. El primero de estos corresponde al horizonte de tiempo sobre el cual se hace la planeación del proyecto, dentro del cual se deben tener en cuenta variaciones características de impermeabilidad y producción de escorrentía de la cuenca, los cuales son funciones del tiempo. Mientras que el segundo hace referencia al tiempo esperado para que ocurra la lluvia con la cual se ha diseñado el sistema de alcantarillado.

De acuerdo con la Resolución 2320 de 2000, expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial o aquella que la modifique o sustituya, los períodos de diseño de las redes de alcantarillado de aguas lluvias son: de 30 años para los **sistemas con nivel de complejidad alto** y de 25 años para los demás **sistemas**. En aquellos casos en los cuales el análisis de costo mínimo sugiera un desarrollo por etapas, esto debe tenerse en cuenta para propósitos de diseño en el período de diseño.

D.4.3.2 Período de retorno de la lluvia de diseño

El período de retorno de diseño debe determinarse de acuerdo con la importancia de las áreas y con los daños, perjuicios o molestias que las inundaciones periódicas puedan ocasionar a los habitantes, el tráfico vehicular, el comercio, la industria, etc. La selección del período de retorno está asociada con las características de protección e importancia del área de estudio y, por lo tanto, el valor adoptado debe estar justificado de acuerdo con dicho criterio. En la Tabla D.4.1 se establecen los valores de períodos de retorno de acuerdo con 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 D.4.1 Períodos de retorno recomendados según el grado de protección del sistema

Características del área de drenaje	Mínimo (años)	Aceptable (años)	Recomendado (años)
Tramos iniciales en zonas residenciales con áreas tributarias menores de 2 ha	2	2	3
Tramos iniciales en zonas comerciales o industriales, con áreas tributarias menores de 2 ha	2	3	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias entre 2 y 10 ha	2	3	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias mayores a 10 ha	5	5	10
Canales abiertos en zonas planas y que drenan áreas mayores a 1000 ha	10	25	50
Canales abiertos en zonas montañosas (alta velocidad) o a media ladera, que drenan áreas mayores a 1000 ha	25	50	100

Dependiendo del **nivel de complejidad del sistema**, las autoridades locales deben definir el grado de protección, según lo señalado en la tabla anterior dentro de las categorías de mínimo, aceptable o recomendado. En cualquier caso este grado de protección, o período de retorno debe ser igual o mayor al

presentado en la Tabla D.4.2. Sin embargo, en casos especiales en los cuales exista el peligro de pérdida de vidas humanas, las autoridades locales pueden incrementar el grado de protección.

Tabla D.4.2 Grado de protección según el nivel de complejidad del sistema

Nivel de Complejidad del Sistema	Grado de protección igual o mayor al:
Bajo y Medio	Mínimo
Medio Alto	Aceptable
Alto	Recomendado

En los casos en los cuales el caudal que exceda el caudal de diseño tenga la posibilidad de verter por una ladera o escarpe con potencialidad de desestabilización del terreno y deslizamientos, debe considerarse el aumento del período de retorno. Para las canalizaciones y canales es necesario proveer un borde libre que debe incrementar la capacidad total de conducción de agua. Es necesario verificar en la corriente receptora los posibles efectos de remanso y reflujos.

D.4.3.3 Determinación de áreas de drenaje

Para el diseño y la ampliación de redes de alcantarillado de aguas lluvias, el trazado debe seguir las calles del municipio o localidad. 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 mediante medición directa en planos y su delimitación debe ser consistente con el sistema de drenaje natural del municipio.

La medición de las áreas de drenaje en los planos debe hacerse utilizando la información geográfica disponible en la persona prestadora del servicio público de alcantarillado o, para el caso de **sistemas con niveles de complejidad bajo y medio**, en las oficinas de planeación municipal. Para los **sistemas con niveles de complejidad medio alto y alto**, se permite que el diseñador haga uso de técnicas computacionales de información geográfica que le permitan establecer las áreas de drenaje de cada tramo en forma precisa.

A medida que las áreas de drenaje urbanas, consideradas para el diseño del sistema de recolección y evacuación de aguas lluvias, crecen, la intensidad media de la lluvia, utilizada para el cálculo del caudal de diseño (ver literal D.4.4.3.2 de este título), debe reducirse para tener en cuenta la variabilidad espacial que caracteriza el fenómeno de precipitación. Por consiguiente, el diseñador debe utilizar unos factores de reducción de la intensidad media de precipitación como función del área tributaria de la cuenca.

D.4.3.4 Diámetro interno mínimo

En las redes de recolección y evacuación de aguas lluvias, y principalmente en los primeros tramos, la sección circular es la más usual para las tuberías. El diámetro interno mínimo permitido en redes de sistemas de recolección y evacuación de aguas lluvias es **215 mm**. Sin embargo, en casos especiales, en particular en **sistemas con niveles de complejidad bajo y medio**, y con plena justificación por parte del diseñador, puede reducirse en los tramos iniciales a **170 mm**.

D.4.3.5 Relación máxima entre la profundidad y el diámetro de la tubería

En el diseño se debe permitir y establecer una profundidad de flujo máxima en cada una de las tuberías con el fin de permitir una adecuada aireación para el flujo dentro de cada tramo. El valor máximo permisible para la profundidad de flujo, contemplada en el diseño, debe ser del 85% del diámetro real interno de cada una de las tuberías.

Todos los cálculos y las verificaciones de relaciones hidráulicas se deben hacer con el diámetro real interno de la tubería. Dichos cálculos se deben hacer para el caudal de diseño tal como se establece en el literal D.4.4.1 de esta norma.

D.4.3.6 Velocidades en las tuberías

D.4.3.6.1 Velocidad mínima

En los sistemas de recolección y evacuación de aguas lluvias, se transportan sólidos que pueden depositarse en las tuberías si el flujo tiene velocidades bajas. Por lo tanto, debe tenerse una velocidad suficiente para lavar los sólidos depositados durante los períodos de bajos caudales. Debido a esto se debe establecer una velocidad mínima como criterio de diseño. La velocidad mínima real permitida en cada tramo es de 0,75 m/s para el caudal de diseño, siempre que el diámetro sea menor que 450 mm.

En aquellos tramos con diámetros inferiores a 450 mm que no cumplan con la anterior restricción de velocidad, el diseño debe hacerse teniendo en cuenta el comportamiento autolimpiante del flujo, para lo cual es necesario utilizar un criterio de esfuerzo cortante mínimo. Este esfuerzo cortante debe ser mayor o igual que 2,5 Pa para el caudal de diseño.

Para aquellos casos en que los tramos tengan diámetros mayores o iguales a 450 mm, para el caudal de diseño se debe generar un esfuerzo cortante en el fondo de la tubería de alcantarillado igual o mayor que 3,0 Pa. La velocidad mínima correspondiente, para ambos casos de esfuerzo cortante, se puede calcular mediante la ecuación ((D.4.1), mostrada a continuación:

$$v_{\min} = \sqrt{\frac{8\tau_0}{\rho f}} \quad (\text{D.4.1})$$

donde:

- v_{\min} = Velocidad mínima real a máxima relación de llenado para las condiciones de diseño (m/s).
- τ_0 = Esfuerzo cortante en el fondo de la tubería (2.5 Pa si el diámetro es inferior a 450 mm; 3.0 Pa si el diámetro es igual o mayor a 450 mm)
- ρ = Densidad del agua residual (kg/m^3)
- f = Factor de fricción en el fondo de la tubería (adimensional)

A su vez el factor de fricción en el fondo de la tubería para este caso está dado por la expresión:

$$f = \frac{1}{4 \left[\log_{10} \left(\frac{k_s}{4.49 d} \right) \right]^2} \quad (\text{D.4.2})$$

donde:

- d = Diámetro real interno de la tubería a probar (mm).
- k_s = Mínima rugosidad de la tubería igual que 1,23 mm.

El factor de 4.49 establecido en la ecuación (D.4.2) corresponde a la máxima relación de llenado de 0.85.

Para **sistemas con nivel de complejidad alto**, es responsabilidad de la persona prestadora del servicio público de alcantarillado determinar el diámetro típico de los sedimentos que se producen en el municipio o zona del municipio objeto del diseño de acuerdo con el literal D.4.3.9 de este título.

D.4.3.6.2 Velocidad máxima

En el diseño de redes de alcantarillado de aguas lluvias se debe establecer en forma clara un valor máximo de velocidad permisible en la tubería. Los valores máximos de velocidad permisible deben quedar plenamente justificados en el diseño, en términos de las características de los materiales que van a conformar las paredes internas de las tuberías y de las estructuras de conexión, de las características abrasivas de los sedimentos movidos por las aguas lluvias y de la turbulencia del flujo.

Desde la etapa de diseño, los valores de velocidad máxima, también deben justificarse teniendo en cuenta los manuales técnicos de los fabricantes de las tuberías los cuales deben ser aprobados por la persona prestadora del servicio público de alcantarillado.

En general, se recomienda que la velocidad máxima sea de 5 m/s, salvo en el caso de las tuberías plásticas en que dicha velocidad puede ser hasta de 10 m/s. En el caso de tuberías con recubrimientos internos de un material diferente al que conforma el cuerpo estructural de la tubería, la velocidad media máxima recomendada es de 5 m/s. Si el diseñador decide adoptar un mayor valor, dicho valor debe justificarse técnicamente y debe contar con la aprobación previa por la persona prestadora del servicio público de alcantarillado.

En todo caso, cuando la velocidad en uno de los tramos sea mayor a 4 m/s se debe tener en cuenta el potencial daño producido en las estructuras del sistema, las cámaras de unión, inspección o de caída que existan en el mismo. El análisis hidráulico detallado debe incluir, entre otras cosas, el cálculo del flujo rápidamente variado, la posible existencia de resaltos hidráulicos, los problemas de velocidades y la posible resuspensión de sedimentos, los problemas de chorros que impactan en paredes de estructuras complementarias al sistema de alcantarillado y los cambios de dirección de flujo. Adicionalmente, se deben tener en cuenta todos los lineamientos sobre puesta en marcha, operación y mantenimiento dados en este título.

El Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, asesorado por la Junta Técnica Asesora del RAS, tendrá la responsabilidad de revisar y actualizar los valores apropiados de la velocidad máxima permisible para propósitos de diseño de sistema de evacuación y recolección de aguas lluvias, definiendo los mecanismos, procedimientos y metodologías para dicho propósito.

D.4.3.7 Pendientes de las tuberías

D.4.3.7.1 Pendiente mínima de las tuberías

El valor de la pendiente mínima del tramo debe ser aquel que permita tener condiciones de autolimpieza, de acuerdo con los criterios dados en el literal D.4.3.6.1. El diseñador debe considerar las metodologías constructivas del sistema de alcantarillado a fin de que la pendiente mínima establecida se logre y sea verificable en campo.

D.4.3.7.2 Pendiente máxima de las tuberías

El valor de la pendiente máxima admisible, la cual debe establecerse en el diseño, debe ser aquel para el cual se obtenga la velocidad máxima real establecida de acuerdo con lo señalado en el literal D.4.3.6.2 de este título.

En caso de que la pendiente resultante en alguno de los tramos sea superior al 10% el diseñador debe tener en cuenta las consideraciones para altas pendientes, para las cuales la validez de las ecuaciones utilizadas para el cálculo del flujo uniforme o el flujo gradualmente variado requieren de correcciones que son función del ángulo de la pendiente. En estos casos el diseñador debe tener en cuenta lo establecido en el capítulo D.6 de este título.

D.4.3.8 Profundidades de instalación de las tuberías

D.4.3.8.1 Profundidad mínima a la cota clave de las tuberías

Las conexiones domiciliarias y las tuberías de aguas lluvias deben localizarse por debajo de las tuberías de acueducto. Las tuberías de aguas lluvias deben localizarse a una profundidad que no interfiera con las conexiones domiciliarias de aguas residuales al sistema de recolección y evacuación de aguas residuales. En general deben considerarse las interferencias con otras redes. El tipo de cimentación y relleno deben estar de acuerdo con lo estipulado en el Título G del RAS: "*Aspectos Complementarios*". Adicionalmente la profundidad mínima a la cota clave de los tramos de aguas lluvias debe seguir los mismos criterios dados en el literal D.3.3.11.1 de este título.

D.4.3.8.2 Profundidad máxima a la cota clave de las tuberías

La máxima profundidad de las tuberías de aguas lluvias debe seguir los mismos parámetros señalados en el literal D.3.3.11.2 de este título.

D.4.3.9 Aporte de sedimentos

La recolección de aguas lluvias necesariamente implica también la captación de material granular y coloidal que la escorrentía superficial transporta. Igualmente, pueden captarse lodos provenientes de conexiones erradas sanitarias. Las características granulométricas de estos aportes sólidos dependen de las condiciones topográficas, tipo de suelos, protección de estos con la cobertura vegetal y la erosividad causada por la lluvia, entre otros factores.

Es necesario entonces, identificar el tipo de material que las áreas de drenaje pueden aportar a los tramos, haciendo énfasis en el componente granular, pues éste determina en buena parte los requisitos de autolimpieza de las tuberías, evacuación de lodos y la necesidad de construir desarenadores, estratégicamente ubicados antes del ingreso de las aguas lluvias a la red de tuberías. Además, es necesario hacer una evaluación de posibles elementos extraños que puedan ingresar al sistema de aguas lluvias, en particular por actividades antrópicas y comportamientos específicos de sectores de la población.

Los sedimentos que normalmente se encuentran en los sistemas de alcantarillado de aguas lluvias se clasifican de acuerdo con lo mostrado en la tabla D.4.5.

Tabla D.4.5 Fuentes de sedimentos en sistemas de alcantarillado de aguas lluvias⁵

Fuente	Tipo
Superficial	<ul style="list-style-type: none"> • Provenientes de la atmósfera (secos y húmedos) • Partículas provenientes de la erosión de material de los techos y cubiertas • Material originado por la abrasión de las capas de rodadura y los trabajos de repavimentación de vías • Partículas provenientes de los vehículos • Material de trabajos de construcción • Basura arrastrada desde las vías y superficies pavimentadas • Arenas, limos y gravas lavadas o arrastradas de áreas no pavimentadas • Vegetación
Sistema de alcantarillado	<ul style="list-style-type: none"> • Partículas de suelo infiltradas por fugas y fallas en los elementos de la red • Material originado por el desgaste de los elementos del sistema

El diseñador, teniendo en cuenta el tipo de sedimentos, debe establecer los requisitos de autolimpieza de las tuberías, de transporte de lodos y de ubicación de desarenadores, en caso que sean necesarios, antes de que los sedimentos ingresen a la red de tuberías. Adicionalmente, el diseñador debe hacer una evaluación de la factibilidad del ingreso de elementos extraños al sistema de alcantarillado de aguas lluvias, en particular por actividades antrópicas.

El tipo de sedimentos establecido de acuerdo con el párrafo anterior, debe utilizarse para el cálculo de las velocidades mínimas y del esfuerzo cortante mínimo en cada una de las tuberías que conforman la red de alcantarillado de aguas lluvias.

D.4.3.10 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 realizar 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 y tipo de uniones por unidad de longitud y del tipo de suelo. El diseñador también debe tener en cuenta lo establecido en los manuales técnicos de los fabricantes de las tuberías y el Reglamento Técnico de Tuberías (Resoluciones 1166 de 2006 y 1127 de 2007, expedidas por el Ministerio de ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial o las normas que las modifiquen o sustituyan).

⁵ Fuente: "Urban Drainage", Butler David & Davies John, E & FN Spon, Londres, Inglaterra, 2000.

D.4.4 CAUDAL DE AGUAS LLUVIAS

D.4.4.1 Caudal de diseño

En general, para el cálculo del caudal de diseño de los sistemas de recolección y evacuación de aguas lluvias se debe hacer uso de los métodos modernos de lluvia-escorrentía que incluyan modelos de infiltración. Estos últimos modelos incluyen los de Horton, *Soil Conservation Service of USA* y el de *Green y Ampt*.

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, el diseñador 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.

Teniendo en cuenta todo lo establecido en el capítulo D.6 de este título, en aquellos casos en los cuales sea necesario hacer un análisis hidráulico bajo la condición de flujo no permanente, se debe hacer uso de modelos hidrológicos que permitan obtener los hidrogramas de diseño. Ejemplo de estos modelos hidrológicos, que pueden ser utilizados con propósitos de diseño, son los incluidos en programas como el *Storm Water Management Model (SWMM)*, y el *Hydrologic Modeling System* del *Hydrologic Engineering Center (HEC-HMS)*.

En aquellos casos en que el área de la cuenca de drenaje utilizada para el diseño de un sistema de alcantarillado de aguas lluvias tenga una superficie inferior a 80 ha y el diseño no requiera hidrogramas de creciente se puede utilizar el método racional. Este método es un modelo empírico simple, utilizado en el diseño de sistemas de drenaje urbano con áreas relativamente pequeñas, en las cuales se pueda considerar que la intensidad de lluvia no varía espacialmente.

En los siguientes literales se hace una descripción de los modelos de lluvia-escorrentía que involucran modelos de infiltración y del método racional, utilizados para el cálculo del caudal de diseño de sistemas de recolección y evacuación de aguas lluvias.

D.4.4.2 Caudal de diseño utilizando modelos lluvia-escorrentía

Para los **sistemas** de todos los **niveles de complejidad**, cuando sea obligatorio el uso de modelos para la generación de hidrogramas, se recomienda utilizar el método desarrollado e implementado en el programa SWMM⁶ de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (*US Environmental Protection Agency, EPA*).

Con el fin de aplicar el método del SWMM, es necesario idealizar cada una de las cuencas de drenaje que llegan a cada uno de los sumideros del sistema de recolección y evacuación de las aguas lluvias, en forma tal que ésta asemeje un canal rectangular caracterizado por una pendiente y coeficiente de rugosidad constantes. Para lo anterior, es necesario determinar la longitud y el ancho del hipotético canal. Para determinar la longitud, se tienen en cuenta las características geométricas de la cuenca, tal como se establece en los siguientes dos numerales:

1. Cuando la captación en la cuenca es simétrica:

$$L = A/(2W) \quad (D.4.3)$$

donde,

L = Longitud de la hipotética cuenca (m)

A = Área tributaria (m^2)

W = Longitud del sistema de captación principal (m).

2. Cuando la captación en la cuenca es asimétrica

⁶ ROSMAN, L. 2004. Storm Water Management Model User's Manual v 5.0. Water Supply and Water Resources Division National Risk Management Research Laboratory Cincinnati.

$$L = A/(W) \quad (D.4.4)$$

donde,

L = Longitud de la hipotética cuenca (m)

A = Área tributaria (m^2)

W = Longitud del sistema de captación principal (m)

Una vez determinada la longitud de la cuenca hipotética, y conociendo el área de ésta, se determina el ancho de la cuenca dividiendo el área por la longitud.

Luego de que cada una de las cuencas de drenaje haya sido idealizada, el diseñador puede calcular el hidrograma de escorrentía directa, producido por un evento de precipitación, combinando un modelo de infiltración con un modelo de flujo uniforme basado en la ecuación de flujo uniforme de Manning. Las ecuaciones correspondientes se muestran a continuación, de las cuales la ecuación ((D.4.5) corresponde a la ecuación de conservación de la masa o ecuación de continuidad y la ecuación ((D.4.6) a la ecuación de equilibrio dinámico.

Estas ecuaciones rigen el modelo conceptual descrito en la Figura D.4.1. En esta figura, la intensidad de la precipitación (i) cae sobre toda el área del canal hipotético; parte del agua sale del canal como tasa de infiltración (f); la altura y_d representa la altura de un hipotético vertedero rectangular de cresta ancha al final del canal hipotético, con el objetivo de simular el fenómeno de estancamiento de parte de la precipitación que cae en la cuenca.

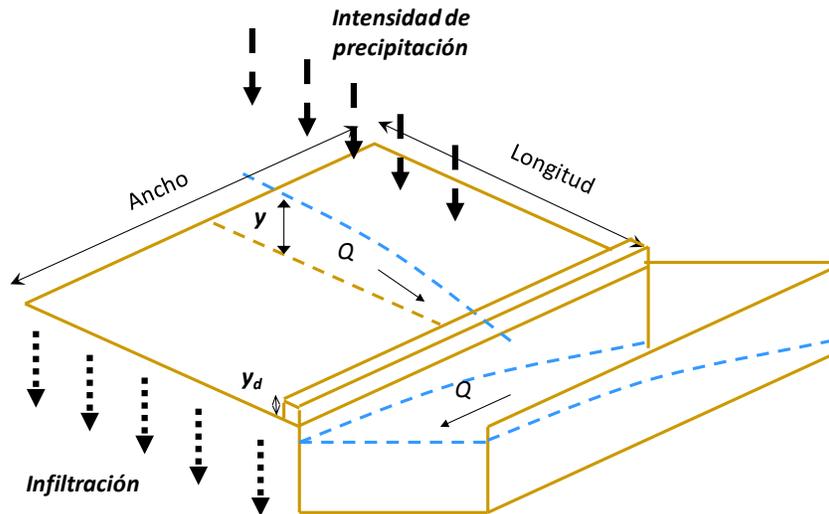


Figura D.4.1 Modelo conceptual del método SWMM

$$iL = \left(fL + \frac{Q}{B}\right) + L \frac{\Delta y}{\Delta t} \quad (D.4.5)$$

$$Q = B \frac{1}{n} S^{\frac{1}{2}} (y - y_d)^{\frac{5}{3}} \quad (D.4.6)$$

donde:

L = Longitud de flujo en la hipotética cuenca (m).

B = Ancho de la hipotética cuenca (m).

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

y_d = Profundidad de almacenamiento de la cuenca (m).

y = Nivel del agua en la hipotética cuenca para cada paso de tiempo (m).

- i = Intensidad de precipitación (m/s).
 f = Tasa de infiltración de la cuenca (m/s).
 Q = Caudal de escorrentía directa (m³/s).
 t = Paso de tiempo (s).
 S = Pendiente del canal (m/m).

El caudal calculado con la ecuación ((D.4.6)), para cada uno de los períodos de tiempo, corresponde al caudal de escorrentía directa (p. ej., caudales de entrada al sumidero conectado al canal hipotético) producida por la cuenca durante el evento de precipitación.

Este método de cálculo del hidrograma de diseño puede ser desarrollado en conjunto con modelos de infiltración donde se determine la precipitación efectiva, entre los cuales se presentan en este título los descritos en los literales D.4.4.2.1, D.4.4.2.2 y D.4.4.2.3.

D.4.4.2.1 Modelo de infiltración de Horton

Este modelo indica que todo suelo presenta una capacidad de infiltración inicial y final, y además tiende a alcanzar la condición de infiltración definitiva con una tasa de decaimiento particular. El diseñador debe determinar la infiltración acumulada en el suelo, para una lluvia de duración conocida. Esto se muestra en la ecuación ((D.4.7)).

$$F = f_{\infty} T_d + \frac{(f_0 - f_{\infty})}{\alpha} (1 - e^{-\alpha T_d}) \quad (D.4.7)$$

donde:

- F = Profundidad de infiltración acumulada (m).
 T_d = Tiempo de duración (s).
 f_{∞} = Tasa de infiltración final del suelo (m/s).
 f_0 = Tasa de infiltración inicial del suelo (m/s).
 α = Coeficiente de decaimiento (s⁻¹).

Los valores de f_{∞} y f_0 están definidos para cada tipo de suelo (ver Tabla D.4.3). Sin embargo, se recomienda determinar estos parámetros, para diferentes valores de humedad inicial, a partir de un estudio de permeabilidad del suelo en algunas zonas puntuales a lo largo de toda la longitud del proyecto. La ecuación ((D.4.7)) es empírica y los tres parámetros f_{∞} , f_0 y α deben ser determinados por la calibración de dicha ecuación con datos de infiltración medidos en el área de proyecto. En caso de no obtener datos de campo se recomienda utilizar los valores dados en la Tabla D.4.3.

Tabla D.4.3 Valores de tasas de infiltración finales, iniciales y tasas de decaimiento

Tipo de suelo	Infiltración inicial (mm/h)	Infiltración final (mm/h)	α (1/h)
Arena, arena margosa o marga arenosa (capacidad de infiltración mayor a 7,62 mm/h)	250	25.4	2
Limo margoso o marga (capacidad de infiltración de 3,81 a 7,62 mm/h)	200	12.7	2
Margas arcillo arenosas (capacidad de infiltración de 1,27 a 3,81 mm/h)	125	6.3	2
Marga arcillosa, marga arcillo limosa, arcilla arenosa, arcilla limosa o arcilla (capacidad de infiltración de 0 a 1,27 mm/h)	76	2.5	2

El diseñador debe, a partir de una curva de precipitación total de la zona objeto del diseño, determinar la curva de precipitación efectiva. Esto se hace restando los valores de infiltración acumulada (F), de los valores de precipitación total (P), para cada valor de la curva de precipitación.

D.4.4.2.2 Modelo de infiltración propuesto por el SCS (NRCS)

Este método fue desarrollado por el entonces Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (U.S. Soil Conservation Service, SCS) actualmente conocido como el Servicio de Conservación de los Recursos Naturales de los Estados Unidos (U.S. Natural Resources Conservation Service -NRCS); permite determinar la precipitación efectiva producida por un evento de lluvia. El método asigna un número de curva (CN) característico de cada tipo de suelo de la cuenca, dependiendo de sus características de permeabilidad. Con este número de curva, el diseñador puede calcular el caudal de escorrentía directa, tal como se detalla a continuación:

$$P = \frac{(P_t - 0.25)^2}{(P_t + 0.85)} \quad \text{(D.4.8)}$$

donde,

P = Profundidad de precipitación efectiva (m)

S = Retención potencial máxima (m).

P_t = Profundidad de precipitación total (m).

El valor de la retención potencial máxima S se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad \text{(D.4.9)}$$

donde,

CN = Valor del número de curva.

El valor del número de curva (CN) depende de tres aspectos: el grupo hidrológico del suelo, los antecedentes de humedad del suelo y su uso. Los cuatro grupos hidrológicos se catalogan de acuerdo con la textura del suelo y la capacidad de infiltración como se muestra en la Tabla D.4.4.

Tabla D.4.4 Grupos hidrológicos del suelo para el método de infiltración del Soil Conservation Service

Grupo hidrológico de suelo	Textura del suelo
A	Arena, arena margosa o marga arenosa (capacidad de infiltración mayor a 7,62 mm/h)
B	Limo margoso o marga (capacidad de infiltración de 3,81 a 7,62 mm/h)
C	Margas arcillo arenosas (capacidad de infiltración de 1,27 a 3,81 mm/h)
D	Marga arcillosa, marga arcillo limosa, arcilla arenosa, arcilla limosa o arcilla (capacidad de infiltración de 0 a 1,27 mm/h)

De acuerdo con la actividad humana desarrollada en la zona del proyecto se deben determinar los números de curva (CN) que mejor se ajusten a las condiciones locales. En la Tabla D.4.5 se presentan algunos valores de CN utilizados en zonas urbanas. Se debe verificar la fundamentación teórica del presente modelo de infiltración antes de seleccionar un número de curva, teniendo en cuenta las características de la zona de proyecto ya sea urbana, suburbana, rural, agrícola, entre otras.

Tabla D.4.5 Valores de números de curva para suelos con condiciones promedio de humedad para zonas urbanas

Tipo de cobertura y condición hidrológica		Área impermeable promedio	Números de curva para cada tipo de suelos			
			A	B	C	D
Espacios abiertos	Cobertura pobre (cobertura de pastos < 50%)		68	79	86	89
	Cobertura parcial (cobertura de pastos de 50% a 75%)		49	69	79	84
	Cobertura buena (cobertura de pastos > 75%)		39	61	74	80

RAS. Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales Domésticas y Aguas Lluvias

Áreas impermeables	Parqueaderos, techos, zonas pavimentadas, entre otros.		98	98	98	98
Calles y carreteras	Andenes pavimentados y sumideros		98	98	98	98
	Zanjas o diques pavimentados		83	89	92	93
	Zona cubierta de gravas		76	85	89	91
	Zona cubierta de arenas o polvo		72	82	87	89
Zonas urbanas	Zonas comerciales y de negocios	85%	89	92	94	95
	Zona industrial	72%	81	88	91	93
Zonas residenciales (por tamaño del lote)	500 m ² o menos	65%	77	85	90	92
	1000 m ²	38%	61	75	83	87
	1350 m ²	30%	57	72	81	86
	2000 m ²	25%	54	70	80	85
	4000 m ²	20%	51	68	79	84
	8000 m ²	12%	46	65	77	82
Áreas urbanas permeables en desarrollo y sin vegetación			77	86	91	94

Los valores CN para suelos con condiciones de humedad previas secas, se deben calcular con la ecuación ((D.4.10)).

$$CNI = CN - 2.45(100 - CN)^{0.62} \quad (D.4.10)$$

donde,

CN = Número de curva para suelos con condiciones de humedad promedio.

CNI = Número de curva para suelos con condiciones de humedad previa seca.

Para suelos de humedad alta, se debe utilizar el valor del número de curva correspondiente a la condición tres (III). Este número se representa por la abreviatura CNIII y se obtiene aplicando la ecuación ((D.4.11)).

$$CNIII = CN + 0.6(100 - CN)^{0.953} \quad (D.4.11)$$

donde,

CNIII = Valor del número de curva para suelos con humedad previa elevada.

CN = Valor del número de curva para suelos con condiciones de humedad promedio.

En caso que la zona objeto del diseño, sea de tipo urbana, donde las superficies están compuestas por sectores permeables y no permeables, el diseñador debe estimar un valor de número de curva equivalente. Para esto, se debe utilizar la ecuación ((D.4.12)).

$$CN_{equi} = \frac{[\%I \times CN_{imper} + (100 - \%I) \times CN_{perm}]}{100} \quad (D.4.12)$$

donde,

%I = Porcentaje de área con cubierta impermeable.

CN_{perm} = Número de curva para el área permeable.

CN_{imper} = Número de curva para el área impermeable.

Al igual que en el modelo de Horton, el diseñador debe, a partir de una curva de precipitación total de la zona objeto del diseño, determinar la curva de precipitación efectiva.

D.4.4.2.3 Modelo de infiltración de Green y Ampt

Este es un método simplificado que se basa en el uso de la aplicación de las ecuaciones de conservación de la masa o continuidad y de conservación de *momentum* sobre un volumen de control del suelo. Dichas ecuaciones se detallan a continuación:

1. Ecuación de continuidad

$$F(T) = L \left(\frac{\eta - \theta_i}{100} \right) = L(M) \quad (D.4.13)$$

donde,

- F = Profundidad de infiltración acumulada (m).
- L = Profundidad del estrato saturado de suelo (m).
- η = Porosidad del suelo (volumen de agua contenido en condiciones de saturación) (%).
- θ_i = Humedad inicial del suelo durante el período de tiempo T (%).
- T = Período de tiempo (s).
- M = Variación de la humedad en el suelo durante el período de tiempo T (adimensional).

La porosidad η debe ser reducida para tener en cuenta el atrapamiento de aire, por lo tanto se debe utilizar la porosidad efectiva mostrada en la Tabla D.4.6.

2. Ecuación de conservación de *momentum*

$$F_{t+1} = F_t + K \times \Delta t + M \times S \times \ln \left(\frac{F_{j+1} - F_j}{F_j + M \times S} \right) \quad (D.4.14)$$

donde,

- F_{t+1} y F_t = Profundidades acumuladas de agua infiltrada en cada tiempo (m).
- K = Permeabilidad del suelo (m/s).
- M = Variación de la humedad en el suelo durante el período de tiempo (adimensional).
- S = Altura de succión del suelo en el frente de mojado (m).
- Δt = Intervalo de tiempo (s).

Definiendo las tres variables a comparar como:

- i = Intensidad de precipitación (m/s).
- f_1 = Tasa de infiltración del terreno al inicio del período de tiempo analizado (m/s).
- f_2 = Tasa de infiltración del terreno al final del período de tiempo analizado (m/s).

De acuerdo con lo anterior, durante un evento de precipitación se pueden presentar tres casos típicos para un período de tiempo determinado, sobre los cuales el diseñador debe calcular la precipitación efectiva. Estos casos se muestran a continuación:

- **Caso 1.** $f_2 < f_1 < i$

$$i_{efec} = i - \frac{(F_{j+1} - F_j)}{\Delta t} \quad (D.4.15)$$

donde,

- i_{efec} = Exceso de precipitación (m/s).
- i = Intensidad de precipitación (m/s).
- F_j = Profundidad de infiltración acumulada al inicio del intervalo de tiempo (m).
- F_{j+1} = Profundidad de infiltración acumulada al final del intervalo de tiempo (m).
- Δt = Intervalo de tiempo (s).

En este caso la profundidad acumulada de infiltración se debe calcular con la ecuación de conservación de *momentum* (ecuación ((D.4.14))).

- **Caso 2.** $i < f_2 < f_1$

En este caso la profundidad acumulada de infiltración y la altura de infiltración para el tiempo final de cada paso de tiempo (Δt), se calculan con las siguientes ecuaciones.

$$F_{j+1} = F_j + i \times \Delta t \quad (\text{D.4.16})$$

$$F_{j+1} = K \left(1 + \frac{M \times S}{F_{j+1}} \right) \quad (\text{D.4.17})$$

donde,

- i = Intensidad de precipitación (m/s).
- F_j = Profundidad de infiltración acumulada al inicio del período de tiempo (m).
- F_{j+1} = Profundidad de infiltración acumulada al final del período de tiempo (m).
- Δt = Intervalo de tiempo (s).
- K = Permeabilidad del suelo (m/s).
- M = Variación de la humedad en el suelo durante el período de tiempo.
- S = Altura de succión del suelo en el frente de mojado (m).

En este caso, la precipitación efectiva es cero.

Caso 3. $f_2 < i < f_1$

Este caso tiene características de los dos anteriores. Inicialmente, la precipitación es menor que la capacidad de infiltración, por lo cual no hay escorrentía (precipitación efectiva). Sin embargo, al final del período de tiempo ocurre lo contrario. Por lo tanto, el diseñador debe determinar en qué momento se inicia la producción de escorrentía. El volumen requerido para que inicie la escorrentía se determina con la siguiente ecuación:

$$F_p = \frac{K \times M \times S}{(i - K)} \quad (\text{D.4.18})$$

donde,

- F_p = Profundidad de infiltración acumulada en que se inicia el proceso de escorrentía superficial (m).
- i = Intensidad de precipitación (m/s).
- K = Conductividad hidráulica del suelo (m/s).
- M = Variación de la humedad en el suelo durante el período de tiempo.
- S = Altura de succión del suelo en el frente de mojado (m).

El tiempo requerido para iniciar la escorrentía efectiva se calcula aplicando la siguiente ecuación.

$$\delta_t = \frac{(F_p - F_j)}{i} \quad (\text{D.4.19})$$

donde,

- i = Intensidad de precipitación (m/s).
- δ_t = Tiempo requerido para iniciar escorrentía efectiva (s).
- F_p = Profundidad de infiltración acumulada en que se inicia el proceso de escorrentía superficial (m).
- F_j = Profundidad de infiltración acumulada al inicio del período de tiempo (m).

Antes de este momento la escorrentía efectiva es cero y aplican las ecuaciones del **caso 3**. Posteriormente a este tiempo, se aplican las ecuaciones del **caso 1**. Los valores de los parámetros del suelo requeridos para la aplicación de este método se encuentran en la Tabla D.4.6.

Tabla D.4.6. Parámetros del suelo requeridos para la aplicación del modelo Green y Ampt

Tipo de suelo	Porosidad η	Porosidad efectiva η	Altura de succión S (mm)	Conductividad hidráulica K (mm/h)
Arena	0,437	0,417	49,5	117,8
Arena margosa	0,437	0,401	61,3	29,9
Marga arenosa	0,453	0,412	110,1	10,9

Tipo de suelo	Porosidad η	Porosidad efectiva η	Altura de succión S (mm)	Conductividad hidráulica K (mm/h)
Marga	0,463	0,434	88,9	3,4
Marga limosa	0,501	0,486	166,8	6,5
Marga areno-arcillosa	0,398	0,330	218,5	1,5
Marga arcillosa	0,464	0,309	208,8	1,0
Marga limo-arcillosa	0,471	0,432	273	1,0
Arcilla arenosa	0,430	0,321	239	0,6
Arcilla limosa	0,479	0,423	292,2	0,5
Arcilla	0,475	0,385	316,3	0,3

Se recomienda que parámetros como la porosidad, la altura de succión y la permeabilidad del suelo se determinen mediante ensayos de campo y laboratorio. Para **sistemas con nivel de complejidad alto** se recomienda que los parámetros anteriores, incluyendo la porosidad, la altura de succión y la permeabilidad del suelo se determinen mediante ensayos de campo y de laboratorio en la zona del municipio objeto del diseño del sistema de alcantarillado de aguas lluvias. Con los datos medidos, se puede establecer una base de datos que permita facilitar todos los procesos de diseño que en un futuro lleve a cabo la persona prestadora del servicio público de alcantarillado del municipio.

Al igual que en el modelo de Horton, el diseñador debe determinar la curva o hidrograma de precipitación efectiva, haciendo uso de una curva de precipitación total en la zona del municipio objeto del diseño. Para llevar a cabo esto, se deben restar los valores de infiltración acumulada (F) de los valores de la precipitación total (P), para cada uno de los valores de la curva de precipitación. De igual forma, se debe calcular la intensidad de precipitación para cada intervalo de tiempo, a partir de una curva de precipitación que el diseñador debe escoger para la zona objeto del diseño, teniendo en cuenta el período de retorno de diseño.

D.4.4.3 Caudal de diseño utilizando el método racional

El método racional es un modelo empírico simple que puede utilizarse para el diseño de sistemas de recolección y evacuación de aguas lluvias que tengan áreas relativamente pequeñas. El diseñador podrá utilizar este método racional siempre y cuando el área de la cuenca de drenaje sea menor que 80 ha. El método racional calcula el caudal pico de aguas lluvias utilizando la intensidad media del evento de precipitación, con una duración igual al tiempo de concentración del área de drenaje y un coeficiente de impermeabilidad. El caudal medido a la salida de esta cuenca pequeña durante un período de lluvia uniforme debe incrementarse hasta un valor máximo que se mantiene constante hasta que se detenga la lluvia.

De acuerdo con lo anterior, en el método racional el caudal pico ocurre cuando toda el área de drenaje está contribuyendo, para lo cual dicho caudal es una fracción de la precipitación media bajo las siguientes suposiciones:

1. El caudal pico de escorrentía en cualquier punto de la cuenca es función directa del área tributaria de drenaje y de la intensidad de precipitación promedio durante el tiempo de concentración en dicho punto.
2. El período de retorno del caudal pico es igual al período de retorno de la intensidad promedio de precipitación o evento de precipitación.
3. La lluvia se distribuye uniformemente sobre toda el área de drenaje.
4. La intensidad de la lluvia permanece constante durante un período de tiempo por lo menos igual al tiempo de concentración. Esta suposición es particularmente correcta para períodos de tiempo relativamente cortos.
5. El tiempo de concentración puede ocurrir en cualquier momento a lo largo del período de lluvia, ya sea cerca al comienzo, en la mitad o al final de ésta.
6. La relación entre la lluvia y la escorrentía es lineal.
7. El coeficiente de impermeabilidad C , es constante para lluvias de cualquier duración o frecuencia sobre el área de drenaje.

Teniendo en cuenta las anteriores suposiciones, el método racional tiene las siguientes limitaciones:

1. El método solo permite obtener un punto en el hidrograma de escorrentía, el cual corresponde al caudal pico. Cuando el terreno se vuelve quebrado y complejo, la ecuación tiende a sobrestimar el caudal.
2. El método no permite calcular el almacenamiento de agua en las tuberías, el cual puede atenuar el pico de caudal cuando estas son largas.
3. El método no es confiable cuando las cuencas tienen formas irregulares, donde no hay un incremento uniforme del área con la distancia al punto de salida.
4. El método supone que la intensidad de lluvias es uniforme sobre toda la cuenca. Esto es cierto solo para áreas y períodos de tiempo pequeños. Por consiguiente, el método se debe limitar para áreas de máximo 80 ha.
5. El método puede subestimar el caudal cuando el patrón de lluvia tiende a tener un pico muy alto, por ejemplo, cuando la intensidad máxima es bastante mayor que el valor medio de la intensidad de lluvia.
6. Existen variaciones considerables en la interpretación y metodología de uso de la ecuación. Existen aspectos subjetivos importantes en la escogencia del coeficiente de impermeabilidad y de los valores de tiempo de entrada.

La expresión que debe utilizarse para el método racional varía de acuerdo con el sistema de unidades utilizado. En la práctica normal de la ingeniería se utilizan dos sistemas de unidades, ambos basados en el sistema internacional de unidades, los cuales corresponden a las ecuaciones ((D.4.20)) y ((D.4.21)) mostradas a continuación:

$$Q = C \times i \times A \quad (D.4.20)$$

donde:

- Q = Caudal pico de aguas lluvias (L/s).
 C = Coeficiente de impermeabilidad definido para cada área tributaria (adimensional).
 i = Intensidad de precipitación correspondiente al tiempo de concentración utilizado (L/s.ha).
 A = Área tributaria de drenaje (ha).

$$Q = 2.78 \times C \times i \times A \quad (D.4.21)$$

donde:

- Q = Caudal pico de aguas lluvias (L/s).
 C = Coeficiente de impermeabilidad definido para cada área tributaria (adimensional).
 i = Intensidad de precipitación correspondiente al tiempo de concentración utilizado (mm/h).
 A = Área tributaria de drenaje (ha).

Para los **sistemas** de todos los **niveles de complejidad**, el método racional descrito en este literal, puede utilizarse únicamente cuando el área de la cuenca urbana sea inferior a 80 ha y sus coeficientes de impermeabilidad estén completamente establecidos. Para el caso de **sistemas con nivel de complejidad alto**, el diseñador debe contar con la aprobación de la persona prestadora del servicio público de alcantarillado en el municipio antes de hacer uso del método racional.

D.4.4.3.1 Coeficiente de impermeabilidad o escorrentía

El coeficiente de impermeabilidad C , es función del tipo del suelo del área tributaria, 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 – POT, EOT – PBOT adoptados por el Concejo municipal sobre los usos del suelo, 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 diferentes coeficientes de impermeabilidad, 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 ((D.4.22) mostrada a continuación.

$$C = \frac{(\sum C \times A)}{\sum A} \quad (D.4.22)$$

donde:

- C** = Coeficiente de impermeabilidad o escorrentía (-).
A = Área tributaria de drenaje (ha).

Alternativamente, el diseñador puede utilizar los coeficientes de impermeabilidad mostrados en la Tabla D.4.7.

Tabla D.4.7 Coeficientes de impermeabilidad

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

D.4.4.3.2 Intensidad de precipitación

El diseñador debe calcular la intensidad de precipitación, ya que éste es un parámetro común a todos los modelos utilizados para estimar el caudal de aguas lluvias. El cálculo de la intensidad de precipitación depende del modelo de infiltración o método de estimación de caudal de aguas lluvias que sea utilizado por el diseñador.

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, de acuerdo con lo establecido en el literal D.4.3.2 y una duración de lluvia equivalente al tiempo de concentración de la escorrentía, de acuerdo con lo establecido en el literal D.4.4.3.4.

Para tener en cuenta la variabilidad espacial de la lluvia, el diseñador debe utilizar unos factores de reducción de la intensidad media de precipitación como función del área tributaria de la cuenca. Para en los **sistemas** de todos los **niveles de complejidad**, los valores deben contar con la aprobación dada por la persona prestadora del servicio público de alcantarillado del municipio. En caso que el diseñador no tenga información acerca de los factores de reducción, puede utilizar los factores de reducción mostrados en la Tabla D.4.8.

Tabla D.4.8 Factor de reducción de la intensidad media de precipitación para diferentes áreas de drenaje

Áreas de drenaje (ha)	Factor de reducción
50 – 100	0,99
101 – 200	0,95

Áreas de drenaje (ha)	Factor de reducción
201 – 400	0,93
401 – 800	0,90
801 – 1600	0,88

En la actualidad, el efecto invernadero genera una serie de cambios climáticos globales. De acuerdo con diferentes investigaciones realizadas a nivel mundial, este efecto causará un aumento de la intensidad de lluvia en diferentes sitios del planeta. A pesar de esto, este documento no recomienda ningún incremento en la intensidad de precipitación de diseño por causa del cambio climático; sin embargo, los diseños deben ser suficientemente robustos e incorporar márgenes de seguridad para permitir la posibilidad de que esto suceda, haciendo uso de información hidrológica confiable teniendo en cuenta por lo menos los lineamientos establecidos por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM.

D.4.4.3.3 Curvas de intensidad-duración-frecuencia

Las curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) constituyen la base climatológica para la estimación de los caudales de diseño. Estas curvas sintetizan las características de los eventos extremos máximos de precipitación de una determinada zona y definen la intensidad media de lluvia para diferentes duraciones de eventos de precipitación con períodos de retorno específicos. Es necesario verificar la existencia de curvas IDF para la localidad. Si existen, estas deben ser analizadas para establecer su validez y confiabilidad para su aplicación al proyecto. Si no existen, es necesario obtenerlas a partir de información existente de lluvias. La obtención de las curvas IDF debe realizarse con información pluviográfica de estaciones ubicadas en la localidad, derivando las curvas de frecuencia correspondientes mediante análisis puntuales de frecuencia de eventos extremos máximos. La distribución de probabilidad de Gumbel se recomienda para estos análisis, aunque otras también pueden ser ajustadas.

Eventualmente, es posible hacer análisis regionales de frecuencia en caso de disponer de más de una estación pluviográfica. Si no existe información en la población, debe recurrirse a estaciones localizadas en la zona lo más cercanas a la población. Si esto no permite derivar curvas IDF aceptables para el proyecto, deben ajustarse curvas IDF por métodos sintéticos, preferencialmente derivados con información pluviográfica colombiana. De acuerdo con el **nivel de complejidad del sistema**, la manera mínima permitida de obtención de las curvas IDF se define en la Tabla D.4.9.

Tabla D.4.9 Mínimo requerimiento para la fuente de obtención de curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF)

Nivel de Complejidad del Sistema	Mínimo requerimiento
Bajo y Medio	Curvas sintéticas
Medio Alto	Información pluviográfica regional
Alto	Información pluviográfica local

El diseñador también podrá hacer uso de ecuaciones que relacionen la intensidad de lluvia y su duración, cuando estas existan para cada una de las estaciones pluviográficas de la ciudad o de la zona del municipio objeto del diseño de la red de alcantarillado de aguas lluvias. En general estas ecuaciones tienen la forma mostrada en la ecuación ((D.4.23)) y en la ecuación ((D.4.24)).

$$i = \frac{a}{(T_d^b + c)} \quad (D.4.23)$$

$$i = \frac{a}{(T_d + c)^b} \quad (D.4.24)$$

donde:

i = Intensidad de precipitación (mm/h).

T_d = Duración de la lluvia (min).

a , b y c = Coeficientes función de las características de cada estación pluviográfica (adimensional).

D.4.4.3.4 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 de 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 ((D.4.25)) mostrada a continuación.

$$T_c = T_e + T_r \quad (D.4.25)$$

donde:

T_c = Tiempo de concentración (min).

T_e = Tiempo de entrada (min).

T_r = Tiempo de recorrido (min).

D.4.4.3.4.1 Tiempo de entrada

El tiempo de entrada, que debe utilizarse para calcular el tiempo de concentración de la ecuación ((D.4.25)), corresponde al tiempo que le toma al flujo superficial para viajar desde la parte más alejada de la sub-cuenca hasta el punto de entrada o sumidero más cercano a la red de tuberías que conforman el sistema de alcantarillados de aguas lluvias. En general, el tiempo de entrada depende de la longitud, la pendiente promedio y la naturaleza de la sub-cuenca, así como de la intensidad del evento de precipitación. Teniendo en cuenta toda la información disponible acerca de los parámetros de entrada, el diseñador debe utilizar la siguiente ecuación:

- a. Ecuación de la Administración Federal de Aviación (*del inglés Federal Aviation Administration*) de los Estados Unidos

La Administración Federal de Aviación de los Estados Unidos (USA) ha establecido la siguiente ecuación para el cálculo de la escorrentía superficial en áreas urbanas.

$$T_e = \frac{0.707 \times (1.1 - C) \times L^{1/2}}{S^{1/2}} \quad (D.4.26)$$

donde:

T_e = Tiempo de entrada (min).

C = Coeficiente de impermeabilidad (adimensional).

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

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

Alternativamente, y con la aprobación previa de la persona prestadora del servicio público de alcantarillado del municipio, el diseñador puede hacer uso de cualquiera de las siguientes dos ecuaciones para calcular el tiempo de entrada.

- b. Ecuación del Soil Conservation Service (SCS):

El Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (USA Soil Conservation Service, SCS), actualmente conocido como el Servicio de Conservación de los Recursos Naturales (*US Natural Resources Conservation Service*, NRCS) desarrolló la siguiente ecuación con el fin de calcular el tiempo

de viaje como función de la velocidad media de la escorrentía superficial sobre el área de drenaje y la longitud del recorrido a través de la superficie del terreno:

$$T_s = \frac{L}{60 \times v_s} \quad (\text{D.4.27})$$

donde:

- T_s = Tiempo de entrada (min).
- L = Longitud máxima de flujo de escorrentía superficial (m).
- v_s = Velocidad media de escorrentía superficial (m/s).

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

$$v_s = \alpha \times \sqrt{S} \quad (\text{D.4.28})$$

donde,

- v_s = Velocidad media de escorrentía superficial (m/s).
- α = Constante que depende del tipo de superficie (adimensional).
- S = Pendiente promedio entre el punto más alejado y el punto de entrada a la red (m/m).

La constante α depende del tipo de suelo que conforma la superficie de escorrentía y puede calcularse utilizando los datos de la Tabla D.4.10.

Tabla D.4.10 Constante α de velocidad superficial

Tipo de superficie	α
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

c. Fórmula de Kerby

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

$$T_s = 1.44 \times \left(\frac{L \times m}{\sqrt{S}} \right)^{0.467} \quad (\text{D.4.29})$$

donde:

- T_s = Tiempo de entrada (min).
- L = Longitud máxima de flujo de escorrentía superficial (m).
- m = Coeficiente de retardo (adimensional).
- S = Pendiente promedio entre el punto más alejado y el punto de entrada a la red (m/m).

El coeficiente de retardo m , puede ser calculado como función del tipo de la superficie de escorrentía, utilizando los valores mostrados en la Tabla D.4.11 mostrada a continuación:

Tabla D.4.11 Coeficiente de retardo m

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

D.4.4.3.4.2 Tiempo de recorrido

El tiempo de recorrido es el período de tiempo que le toma al agua lluvia recorrer el sistema de tuberías que conforman la red de alcantarillados, desde el punto de entrada hasta el punto de análisis o salida de la cuenca. Por supuesto, este tiempo es función de la velocidad media del flujo en cada tramo, así como de la longitud de cada uno de ellos.

La velocidad media puede calcularse utilizando las ecuaciones para flujo uniforme en tuberías de sección circular fluyendo parcialmente llenas, preferiblemente la ecuación de Darcy Weisbach en conjunto con la ecuación de Colebrook-White, o alternativamente la ecuación de Manning, teniendo en cuenta sus restricciones para el uso. Una vez calculada la velocidad media, el tiempo de recorrido se calcula de acuerdo con la ecuación ((D.4.30)), mostrada a continuación:

$$T_t = \frac{L}{(60 \times v)} \quad \text{(D.4.30)}$$

donde:

- T_t = Tiempo de recorrido (min).
- L = Longitud de la tubería o tramo de red (m).
- v = Velocidad media del flujo (m/s).

D.4.4.3.4.3 Cálculo de la intensidad de precipitación y el tiempo de concentración

Para el cálculo de la intensidad de la precipitación, dentro del método racional se deben utilizar las curvas IDF. Para esto, también se debe calcular el tiempo de concentración, mediante un proceso iterativo, el cual parte de suponer una velocidad media en las tuberías, para el primer paso iterativo. Los pasos del proceso iterativo son los siguientes:

1. Suponer un valor de la velocidad media en las tuberías.
2. Calcular el tiempo de recorrido de acuerdo con la ecuación ((D.4.30)).
3. Calcular el tiempo de entrada utilizando una de las ecuaciones ((D.4.26)), ((D.4.28)), ((D.4.29)).
4. Calcular el tiempo de concentración de acuerdo con la ecuación ((D.4.25)).
5. Con el valor del tiempo de concentración, calcular la intensidad de lluvia utilizando las curvas de IDF y el período de retorno de diseño.
6. Calcular el caudal utilizando el método racional.
7. Con el valor del caudal, calcular la velocidad en las tuberías y comparar con el valor supuesto en el paso 1. Si estos valores tienen una diferencia superior o igual al 1%, el proceso iterativo se vuelve a iniciar utilizando como velocidad la última calculada.

El tiempo de concentración mínimo debe ser de 10 minutos, el cual a su vez debe contar con un tiempo de entrada mínimo de 5 minutos. Por otro lado, el tiempo de concentración máximo debe ser 20 minutos. Si dos o más tuberías confluyen a la misma estructura o cámara de conexión, el diseñador debe considerar como tiempo de concentración en ese punto, el mayor de los tiempos de concentración de las respectivas tuberías.

D.4.4.4 Otros aportes de caudal

A continuación se presentan algunos de los potenciales aportes que pueden recibir los sistemas de recolección de aguas lluvias durante sus operación. Se deben tener en cuenta para verificar la capacidad del sistema puntualmente para cada caso y no deben ser utilizados para dimensionar los tramos del mismo durante el diseño.

D.4.4.4.1 Caudales de excavaciones

Durante la operación de la red es posible que se presenten contribuciones de aguas producto del abatimiento del nivel freático en excavaciones de proyectos de ingeniería. Se puede hacer una estimación del caudal de agua que va a ingresar a la red, de acuerdo con la Figura D.4.2 y la ecuación ((D.4.31)).

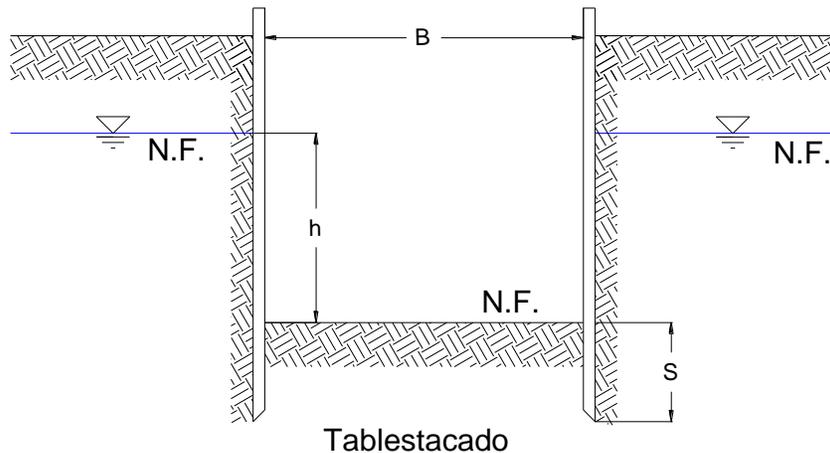


Figura D.4.2 Esquema cálculo aguas subterráneas

$$Q_{sub} = K \times \frac{h}{S} \times B \quad (D.4.31)$$

donde:

- Q_{sub} = Caudal de aguas subterráneas por metro lineal de excavación ($m^3/s.m$).
- K = Permeabilidad del suelo (m/s).
- h = Diferencia de altura de agua (m).
- S = Espesor de suelo por el cual debe fluir el agua (m).
- B = Ancho de excavación (m).

D.4.4.4.2 Caudales por lavados de las redes de acueducto

En aquellos casos en que existan estructuras especiales para el lavado de las redes de conducciones o redes de distribuciones de agua potable del sistema de acueducto, cuyo objetivo sea el permitir el lavado de las tuberías con propósitos de mantener la calidad de agua en el sistema de distribución, la persona prestadora del servicio público de alcantarillado debe tener en cuenta la capacidad del sistema de alcantarillado para realizar dichas operaciones de lavado. Para el diseño de lavados se deben tener en cuenta la ubicación de hidrantes contra incendios y demás estructuras especiales del sistema de acueducto que permitan dicha operación.

D.4.5 CANALES EN SISTEMAS DE DRENAJE

D.4.5.1 Consideraciones para su proyección

Los canales que se utilizan para conducir las aguas de escorrentía provenientes de las aguas lluvias deben ser canales abiertos. Los canales no son permitidos para recolección y evacuación de aguas residuales. En los casos en que sea necesario proyectar un canal cuya sección sea cerrada, 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 prismáticos, dependiendo de las consideraciones específicas, siempre y cuando se justifique su utilización y se usen las ecuaciones hidráulicas adecuadas. En lo posible, los canales deben diseñarse de tal forma que funcionen como un sistema a gravedad, ajustando las cotas de fondo, pendientes y secciones respectivas. En caso contrario, deben tomarse las medidas necesarias y adecuadas para solucionar el problema, siendo estas debidamente justificadas.

La proyección de los canales debe dar cumplimiento al plan de ordenamiento territorial - POT, PBOT, EOT, según el caso, en especial sobre la localización del proyecto y su relación con vías y zonas verdes.

Igualmente, debe cumplirse lo establecido con respecto a la definición de ronda y/o zona de manejo ambiental asociada con los cauces permanentes de ríos o canales. En particular, el tema de rondas se encuentra regulado en la legislación ambiental vigente y se refleja en la reglamentación de ordenamiento y desarrollo urbano del municipio o distrito. Estas franjas permiten ejecutar trabajos y labores de mantenimiento en el canal y deben ser incorporadas al espacio público como calzadas o zonas verdes. En la selección de la sección transversal del canal se deben tener en cuenta las dimensiones e importancia de las vías y las características de las zonas verdes, por cuanto estas constituyen restricciones para su dimensionamiento. Debe evitarse el flujo crítico por su inestabilidad asociada.

D.4.5.2 Estudios previos

Para llevar a cabo el diseño de los canales de drenaje de aguas lluvias, el diseñador debe utilizar o realizar los estudios previos pertinentes de acuerdo con lo descrito en el literal D.2.2 de este título. En particular, el diseñador debe tener en cuenta especialmente los siguientes estudios previos:

D.4.5.2.1 Estudios topográficos

Los estudios topográficos previos deben incluir un levantamiento topográfico del canal de drenaje existente y del corredor asociado a éste. Deben seguirse las normas correspondientes para estos levantamientos topográficos. En los planos resultantes del estudio topográfico debe darse especial atención a la identificación de interferencias para su posterior análisis.

D.4.5.2.2 Catastro

Uno de los estudios previos más importantes, es el análisis catastral de todos los predios asociados con el corredor del canal que forma parte del sistema de drenaje de aguas lluvias.

D.4.5.2.3 Estudios de suelos

El estudio previo sobre los suelos debe incluir una caracterización de estos mediante sondeos e inspecciones de terreno de acuerdo con todo lo establecido en el literal G.2.3 del Título G del RAS: "*Aspectos Complementarios*".

D.4.5.3 Parámetros de diseño

En el caso de los canales que forman parte del sistema de drenaje de aguas lluvias de un municipio, se deben seguir 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 deben diseñarse en forma tal que los colectores marginales descarguen por encima de las aguas máximas del canal.
3. Siempre deben hacerse las provisiones apropiadas de borde libre. Si eventualmente el canal de drenaje llegara a funcionar como un conducto cerrado, la profundidad máxima de éste no puede superar el 90% de la altura del conducto.
4. Las curvas horizontales deben 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 deben estar justificadas plenamente desde la etapa del diseño.
6. Siempre deben tenerse en cuenta las consideraciones correspondientes al efecto o impacto ambiental del canal.
7. En el diseño de los canales debe 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 caudales entreguen el agua a cuerpos naturales de agua, debe tenerse en cuenta la cota con la que debe llegar el canal para hacer un empalme hidráulico apropiado.

D.4.5.3.1 Velocidades en los canales de drenaje de aguas lluvias

En general, la velocidad mínima permisible está determinada por aquel valor que dicte la sedimentación de aquellos materiales producidos por el arrastre de la escorrentía superficial. Teniendo en cuenta la naturaleza típica de dichos materiales, en medios ambientes urbanos, se recomienda un valor para la velocidad mínima de 0,6 m/s.

Por otro lado, la velocidad máxima en el canal de drenaje depende del caudal de diseño, del radio hidráulico y del material que conforman las paredes y el fondo del canal. Adicionalmente deben tenerse en cuenta los siguientes dos requisitos:

1. La velocidad máxima en los canales de drenaje depende del riesgo de erosión que estos puedan sufrir, el cual es función del canal en que están construidos.
2. En general, los canales de entrega de caudales de aguas lluvias deben estar revestidos de algún tipo de material no erosionable.

En las siguientes tablas se dan algunos valores de referencia para velocidades máximas en canales revestidos:

Tabla D.4.12 Velocidades máximas en canales revestidos (m/s)

Tipo de revestimiento	Características del material	Velocidad máxima
Revestimiento de hormigón (agua libre de arenas y piedras)		12,5
Mampostería convencional o en piedra		3,7
Gaviones (0.5 m y mayor)		4,7
Piedras grandes		3,0
Capas de piedra o arcilla (100 mm a 150 mm)		2,4
Suelo apisonado con piedra	Piedra de 150 - 200 mm	2,6
Capa doble de piedra	Piedra de 200 - 300 mm	3,0
Capa doble de piedra	Piedra de 150 - 200 mm	3,0
Capa doble de piedra	Piedra de 200 - 300 mm	3,1

Tabla D.4.13 Velocidades máximas en canales no revestidos según el material en suspensión (m/s)

Material excavado en la construcción del canal	Agua limpia sin detritos	Agua con sedimentos coloidales	Agua con sedimentos no coloidales, arenas, gravas o fragmentos de rocas
Arena fina (no coloidal)	0,4	0,8	0,4
Barro arenoso (no coloidal)	0,5	0,8	0,6
Barro de sedimentación (no coloidal)	0,6	0,9	0,6
Materiales de aluvión no coloidales	0,6	1,1	0,6
Barro compacto ordinario	0,8	1,1	0,7

RAS. Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales Domésticas y Aguas Lluvias

Cenizas volcánicas	0,8	1,1	0,6
Grava fina	0,8	1,5	1,1
Arcilla dura (muy coloidal)	1,1	1,5	0,9
Barro que forma gradualmente cantos terrosos, no coloidales	1,1	1,5	1,5
Materiales de aluvión coloidales	1,1	1,5	0,9
Sedimentos que forman gradualmente cantos coloidales.	1,2	1,7	1,5
Grava gruesa no coloidal	1,2	1,8	2,0
Gujarros y piedras	1,5	1,7	2,0
Pizarras y esquistos	1,8	1,8	1,5

Para cumplir con los requisitos de velocidades máximas 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.

D.4.5.3.2 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 ocasionado por la escorrentía superficial.
2. La pendiente máxima de diseño en los canales de drenaje debe ser aquella para la cual la velocidad de agua no supere las magnitudes establecidas en la Tabla D.4.12 y en la Tabla D.4.13.

D.4.5.4 Métodos de cálculo

D.4.5.4.1 Análisis de costo mínimo

El dimensionamiento de los canales debe justificarse a través de un análisis de costo mínimo que siga los lineamientos establecidos en el Título A del RAS: “*Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico*”. En el análisis de costo mínimo se deben establecer, en los casos en que sea factible, las diferentes etapas en que se debe construir el proyecto. Para **sistemas con nivel de complejidad bajo** no se requiere un análisis de costo mínimo, aunque es recomendado.

D.4.5.4.2 Diseño hidráulico 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 gradualmente variado para **sistemas con nivel de complejidad bajo** o flujo no permanente para los demás **sistemas**, 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.

Se debe utilizar la ecuación de Manning. El valor del coeficiente de rugosidad de Manning debe ser escogido apropiadamente, teniendo en cuenta los materiales que componen el perímetro mojado y el tipo de sedimentos que pueden ser transportados por el canal. En los casos en que sea apropiado, debe estimarse el coeficiente de rugosidad medio de la sección mediante la ponderación con perímetros y/o radios hidráulicos. En el diseño de canales para el drenaje de aguas lluvias se debe justificar el método de cálculo para la sección transversal del canal de entrega.

En todos los casos debe justificarse el factor de fricción o coeficiente de pérdidas por fricción utilizados. En caso que se quiera hacer uso de canales naturales o de canales naturales que hayan tenido una fuerte intervención humana, localizados al interior del municipio, se deben utilizar los coeficientes de rugosidad n de Manning mostrados en la Tabla D.4.14.

Tabla D.4.14 Coeficientes de rugosidad de Manning⁷

Naturaleza del recubrimiento del canal		n de Manning ⁸ (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 – 0,400
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 período de retorno de mínimo 10 años y máximo de 20 años, debe calcularse para una condición de flujo gradualmente variado, considerando el control en el canal natural de entrega, siguiendo todas las consideraciones establecidas en los literales D.6.3.6.1 y D.6.3.6.2 de este título. Se debe utilizar la ecuación general para el flujo gradualmente variado:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S - S_f}{1 - Fr^2} \quad (\text{D.4.32})$$

donde:

$\frac{dy}{dx}$ = Cambio de la profundidad de flujo con respecto al eje longitudinal de análisis (adimensional).

S = Pendiente del fondo de tramo analizado (m/m).

S_f = Pendiente de fricción del flujo (m/m).

Fr = Número de Froude promedio de la sección de análisis (adimensional).

Una vez finalizado el diseño, éste debe comprobarse para condiciones de flujo gradualmente variado o de flujo no permanente correspondientes al evento de la lluvia de diseño. En este último caso se debe utilizar un programa que incluya las ecuaciones de Saint-Venant, tal como se describe en el literal D.6.3.5 de este título.

D.4.5.5 Transiciones en canales abiertos

En el caso de canales abiertos que necesiten el uso de transiciones para incluir cambios en la sección transversal, estas deben ser diseñadas teniendo en cuenta las pérdidas de altura en las uniones y en los cambios de sección. Para esto, deben tenerse en cuenta el tipo de flujo y el cambio gradual de la sección. En general, las transiciones deben diseñarse para flujo subcrítico y los cambios en la geometría de la sección transversal deben ser graduales. Las ecuaciones que se utilicen para el cálculo de las pérdidas deben basarse en el uso de las ecuaciones de conservación de masa y de *momentum* lineal.

Los cambios de forma geométrica o tamaño de la sección transversal implican pérdidas de energía que deben ser tenidas en cuenta durante el análisis de flujo gradualmente variado y de flujo no permanente, con el fin de calcular la línea de gradiente hidráulico en el canal. Las pérdidas en las contracciones de los canales abiertos se calculan mediante la ecuación ((D.4.33)):

$$h_c = 0.1 \left(\frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g} \right) \quad (\text{D.4.33})$$

Esta ecuación es válida para $v_2 > v_1$, donde:

h_c = Pérdida de energía en la contracción (m).

⁷ FHWA.(2001).The Urban Drainage Design Manual, Hydraulic Engineering Circular No. 22 (HEC-22)

⁸ Los valores más bajos se utilizan usualmente para canales bien construidos y mantenidos

- v_2 = Velocidad en el canal aguas arriba de la contracción (m/s).
 v_1 = Velocidad en el canal aguas abajo de la contracción (m/s).
 g = Aceleración de la gravedad (m/s^2).

Por otro lado, las pérdidas en las expansiones de los canales abiertos se calculan mediante la ecuación ((D.4.34)):

$$h_e = 0.2 \left(\frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g} \right) \quad (D.4.34)$$

Esta ecuación es válida para $v_2 < v_1$, donde:

- h_e = Pérdida de energía en la expansión (m).
 v_2 = Velocidad en el canal aguas arriba de la expansión (m/s).
 v_1 = Velocidad en el canal aguas abajo de la expansión (m/s).
 g = Aceleración de la gravedad (m/s^2).

D.4.6 ASPECTOS DE LA PUESTA EN MARCHA

En este literal se establecen aquellos aspectos que desde el momento del diseño se deben tener en cuenta para la puesta en marcha de los sistemas de recolección y evacuación de aguas lluvias para las personas prestadoras del servicio de alcantarillado. Se incluyen las inspecciones preliminares y el protocolo de pruebas de la red nueva, así como las pruebas de infiltración, exfiltración y ensayo de hermeticidad con aire.

Con respecto a las inspecciones preliminares de la red de alcantarillados de aguas lluvias, el diseñador debe seguir todo lo establecido en el literal D.3.4.1 de este título. Como parte del diseño de la red de alcantarillados de aguas lluvias, el diseñador debe establecer el tipo de pruebas que deben realizarse al sistema una vez finalice el proceso de construcción y éste entre en operación. Con respecto a las pruebas de infiltración, de hermeticidad y el ensayo de hermeticidad con aire, cuando éste aplique, el diseñador debe seguir lo establecido en los literales D.3.4.2, D.3.4.3 y D.3.4.4 de este título.

D.4.7 ASPECTOS DE LA OPERACIÓN

En este literal se establecen los aspectos de diseño relacionados con la operación, el control y el seguimiento de las redes de alcantarillado de aguas lluvias para las personas prestadoras del servicio de alcantarillado en el municipio. Estos aspectos deben quedar establecidos desde la etapa de diseño en el manual de operaciones y es responsabilidad del diseñador hacerlos conocer en su informe final de diseño y en las memorias de cálculo. Para **sistemas con nivel de complejidad alto** todos los aspectos de operación deben concordar con el manual de operaciones definido por el diseñador y con el sistema de gestión de calidad de la persona prestadora del servicio público de alcantarillado.

Para **sistemas con nivel de complejidad alto** y como recomendación para **sistemas con nivel de complejidad medio alto**, en el uso de tecnologías de información y, específicamente, en el uso de modelos hidráulicos de la red de alcantarillado de aguas lluvias, el diseñador debe seguir todo lo establecido en el literal D.3.5.5 de este título. Con respecto a la calibración del modelo de la red de alcantarillado de aguas lluvias existente, con el fin de verificar en el modelo el efecto que sobre el sistema de alcantarillado de aguas lluvias tendría el añadir una nueva red de alcantarillado o la ampliación de una red de alcantarillado de aguas lluvias, el diseñador debe seguir todo lo establecido en el literal D.3.5.6 de este título.

D.4.7.1 Mediciones e instrumentación

Los lineamientos que se deben seguir con respecto a mediciones e instrumentación de los sistemas de recolección y evacuación de aguas lluvias se enuncian en el literal D.3.5.1 de este título.

D.4.7.2 Mediciones de calidad de agua

Para **sistemas con nivel de complejidad alto**, y como recomendación para **sistemas con nivel de complejidad medio alto**, las mediciones de caudales y de calidad del agua en la red de alcantarillado de aguas lluvias constituyen hoy en día uno de los elementos más importantes para el seguimiento del comportamiento del sistema, el cual es necesario para propósitos de diseño futuros y para llevar control de los aliviaderos en alcantarillados combinados que lleven a una mejor estimación de los diferentes parámetros de diseño.

Por consiguiente, el diseñador debe establecer el tipo de mediciones de calidad del agua que deben utilizarse para una red de alcantarillados de aguas lluvias en particular y para los cuerpos receptores de las descargas desde los aliviaderos en sistemas de alcantarillados combinados. Las mediciones deben incluir, por lo menos, mediciones de Demanda Química de Oxígeno (DQO), de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), de los sólidos suspendidos Totales (SST), de la temperatura, del pH y de la conductividad del agua. Las mediciones de calidad del agua se deben regir por los requerimientos de la normativa vigente sobre vertimientos y descargas para la disposición de aguas residuales.

Adicionalmente, en el momento de establecer las mediciones que sobre la calidad del agua se deben hacer en los sistemas de recolección y evacuación de aguas lluvias, el diseñador debe tener en cuenta todo lo establecido en el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV) existente en el municipio.

D.4.7.3 Uso de tecnologías de información para la operación

Los lineamientos que se deben seguir con respecto al uso de tecnologías de información de los sistemas de recolección y evacuación de aguas lluvias se enuncian en el literal D.3.5.5 de este título.

D.4.8 ASPECTOS DEL MANTENIMIENTO

En este literal se establecen aquellos aspectos, que desde el momento del diseño de una nueva red de alcantarillado de aguas lluvias o la ampliación de una red existente, se deben tener en cuenta para el mantenimiento de las redes de la persona prestadora del servicio público de alcantarillado. En el diseño se deben tener en cuenta los aspectos descritos en los literales D.4.8.1 a D.4.8.7. En aquellos municipios correspondientes al **nivel de complejidad del sistema alto**, en los que existan sistemas de gestión de calidad, se podrá seguir lo establecido por la correspondiente persona prestadora del servicio público de alcantarillado. Sin embargo, cuando los aspectos de mantenimiento no se encuentren específicamente detallados para la zona del proyecto, se recomienda la aplicación de los siguientes literales.

D.4.8.1 Manual de mantenimiento

Se debe generar un manual de mantenimiento donde se establezca el programa rutinario de labores de inspección, mantenimiento y reparación, determinando una serie de actividades diarias, semanales, mensuales y anuales. Para los **sistemas** de todos los **niveles de complejidad**, la persona prestadora del servicio público de alcantarillado debe redactar y mantener actualizado el manual de mantenimiento del sistema, en el que se debe incluir como mínimo lo establecido en los siguientes literales.

D.4.8.2 Programas de mantenimiento

Para todos los **sistemas, independientemente de sus niveles de complejidad**, se deben tener programas de mantenimiento preventivo periódico y programas de mantenimiento correctivo obligatorio de tuberías, estructuras de unión y demás elementos de un sistema de recolección y evacuación de aguas lluvias. El mantenimiento preventivo debe ser el resultado de un programa de inspección del sistema que permita detectar con anticipación puntos potencialmente críticos.

De acuerdo con el **nivel de complejidad del sistema**, el mantenimiento debe seguir los siguientes requerimientos:

1. Para todos los **sistemas** debe tenerse un programa de mantenimiento preventivo.
2. Para todos los **sistemas**, las labores de mantenimiento de todo equipo electromecánico deben ser preferiblemente preventivas.

3. Para los **sistemas con niveles de complejidad medio alto y alto** las labores de mantenimiento deben ser preferiblemente preventivas.

D.4.8.3 Mantenimiento preventivo

Es responsabilidad del diseñador, desde el momento del diseño de una nueva red de alcantarillado de aguas lluvias, o la ampliación de una red de alcantarillado existente establecer el programa de mantenimiento preventivo de los diferentes tramos, de la cámaras de unión, de las cámaras de inspección, de las cámaras de caída y de los demás elementos que forman parte de la red de alcantarillado. El diseñador debe tener en cuenta todo lo establecido en el literal D.3.6.3 de este título.

D.4.8.4 Mantenimiento correctivo

Es responsabilidad del diseñador en una nueva red de alcantarillado de aguas lluvias o la ampliación de una red de alcantarillado existente especificar el tipo de mantenimiento correctivo que se debe hacer a los elementos del sistema cuando se presenten fallas hidráulicas en éste, particularmente para los eventos de sobrecargas durante diferentes eventos de precipitación.

Para esto el diseñador debe tener en cuenta el registro de daños de la red, la información clasificada derivada de la inspección realizada a la red y toda información adquirida por sistemas de toma remota de datos, para las personas prestadoras del servicio de alcantarillado en **sistemas con nivel de complejidad alto**, y como recomendación para **sistemas con nivel de complejidad medio alto**. En el diseño se debe establecer el tipo de maquinaria a utilizar y la forma de hacer el mantenimiento correctivo, teniendo en cuenta el manual de operaciones de la persona prestadora del servicio público de alcantarillado, dando preferencia a las personas regionales, cuando éste sea el caso.

D.4.8.5 Monitoreo

Con respecto al monitoreo del sistema de alcantarillado de aguas lluvias, el diseñador debe tener en cuenta todo lo establecido en el literal D.3.6.4 de este título.

D.4.8.6 Limpieza de las redes

Con respecto a la limpieza de los sistema de recolección y evacuación de aguas lluvias, el diseñador debe tener en cuenta todo lo establecido en el literal D.3.6.5 de este título. Adicionalmente, para alcantarillados de aguas lluvias es necesario limpiar los desarenadores ubicados al pie de laderas empinadas que constituyen arranques de tramos de drenaje, después de aguaceros fuertes y establecer la evacuación de lodos provenientes de conexiones erradas sanitarias. En los **sistemas con niveles de complejidad medio alto y alto**, los canales de drenaje deben disponer de rampas de acceso para equipos como cargadores y volquetas. En estos tramos los canales deben estar revestidos. En estos **sistemas**, el mantenimiento de cauces naturales de drenaje receptores de escorrentía de aguas lluvias urbanas debe realizarse con draga.

En cualquier **sistema, sea cual sea su nivel de complejidad**, los emisarios finales pueden exigir dragado permanente, lo mismo que una limpieza permanente en el caso de aliviaderos, lo cual debe quedar explícito en el manual de mantenimiento.

La disposición de los residuos resultantes de las actividades de mantenimiento debe realizarse dando cumplimiento a lo definido en el Decreto 1713 de 2002, Decreto 4741 de 2005 o el Decreto 3930 de 2010, a aquellas normas que los modifiquen o sustituyan y aplicando lo definido en el Título I del RAS.

D.4.8.7 Disponibilidad de repuestos

Con respecto a la disponibilidad de repuestos del sistema de alcantarillado de aguas lluvias, el diseñador debe tener en cuenta todo lo establecido en el literal D.3.6.6 de este título.

D.4.9 REHABILITACIÓN DE REDES

Con respecto a la rehabilitación del sistema de alcantarillado de aguas lluvias, el diseñador debe tener en cuenta todo lo establecido en el literal D.3.7 de este título.

CAPÍTULO D.5

D.5. REDES DE ALCANTARILLADOS COMBINADOS

D.5.1 ALCANCE

En este capítulo se presentan los aspectos más importantes que deben tenerse en cuenta para la definición y estimación de los parámetros de diseño, puesta en marcha, operación y mantenimiento de los sistemas de alcantarillado combinado. Los parámetros para el desarrollo del diseño de los mismos han sido definidos en los capítulos anteriores. Posteriormente en el capítulo D.6 de este título, se establece la forma de cálculo hidráulico de estos sistemas de alcantarillado.

D.5.2 CONCEPCIÓN DEL PROYECTO

Este sistema puede ser adoptado en aquellas localidades donde existan situaciones de hecho que limiten el uso de otro tipo de sistemas o cuando resulte ser la mejor alternativa, teniendo en cuenta los costos de disposición de las aguas residuales. Localidades con una densidad de drenaje natural alta pueden ser apropiadas para este tipo de sistemas. Su adopción requiere una justificación sustentada de tipo técnico, económico, financiero y ambiental que garantice que representa la mejor alternativa de saneamiento, incluidos los costos asociados con la disposición final y eventual tratamiento.

Un sistema combinado puede tener ventajas en lo que a costos se refiere. Sin embargo, esto no debe ser analizado considerando el sistema de recolección y evacuación independientemente, sino en conjunto con los requerimientos de tratamiento de las aguas residuales diluidas, para cumplir con la legislación vigente sobre vertimientos a cuerpos de agua receptores. Esto, por consiguiente, está asociado con consideraciones de tipo ambiental debido a que en las aguas combinadas se genera necesariamente dilución de las aguas residuales, las cuales no podrían estar sujetas a un tratamiento apropiado todo el tiempo por el aliviadero que en ocasiones se requiere hacer. Por otro lado, en épocas de verano las velocidades del flujo debido sólo a los aportes de aguas residuales pueden llegar a ser inferiores a las de autolimpieza, lo cual puede causar la acumulación de materia orgánica, cuya descomposición puede generar olores ofensivos y gases. Por estas razones, su selección requiere un análisis técnico, económico, financiero y ambiental que permita recomendarlo por encima de sistemas de recolección y evacuación separados.

Adicionalmente, el diseñador de un sistema de recolección y evacuación de aguas combinadas, debe tener en cuenta todo lo establecido en el plan de saneamiento y manejo de vertimientos (PSMV) establecido para el municipio, o para la región en el caso de personas que presten el servicio de alcantarillado en la región.

D.5.3 CAUDAL DE DISEÑO

Dado que en general el caudal de aguas residuales constituye una pequeña fracción del caudal total combinado, el caudal de diseño de los sistemas combinados es igual al caudal de aguas lluvias que llega como escorrentía a los tramos de la red. Sin embargo, cuando el caudal de aguas residuales es mayor que el 5% del caudal de aguas lluvias, debe tomarse como caudal de diseño la suma de los caudales de aguas residuales y aguas lluvias. En este caso, el caudal de aguas residuales se establece con las contribuciones domésticas, industriales, comerciales, institucionales y de infiltración, sin adicionar las conexiones erradas. Es necesario revisar el comportamiento hidráulico de las tuberías para las condiciones de caudal mínimo inicial o caudal de tiempo seco inicial donde se tenga en cuenta el caudal máximo horario inicial de aguas residuales.

D.5.4 PARÁMETROS DE DISEÑO

En general, los parámetros de diseño para sistemas combinados son los mismos que los correspondientes a los sistemas separados de aguas residuales y de aguas lluvias. En su diseño se deben tener en cuenta los requerimientos para los sistemas de aguas residuales y lluvias, cuya agregación lo conforman. Los capítulos D.3 y D.4 contienen estos requerimientos. Los valores máximos y mínimos que gobiernan el diseño de sistemas combinados corresponden a los de redes de aguas lluvias.

La construcción de aliviaderos en sistemas combinados tiene por objeto disminuir los costos de conducción de los flujos hasta el sitio de disposición final o de tratamiento de las aguas residuales. Estas estructuras derivan parte del caudal que se supone es de escorrentía de aguas lluvias a drenajes que usualmente son naturales o a almacenamientos temporales, disminuyendo así los caudales conducidos por los interceptores o emisarios al sitio de disposición final, que puede ser una planta de tratamiento de aguas residuales. Dentro del diseño de sistemas de recolección y evacuación de aguas combinadas, es necesario considerar el aliviadero de los caudales, cuyos criterios deben estar basados en el grado de dilución, las características hidrológicas de la zona, los volúmenes esperados de aliviadero, la capacidad de depuración del cuerpo de agua receptor de estos volúmenes, la funcionalidad hidráulica requerida y el efecto ambiental de las aguas de aliviadero. En el literal D.7.7 se tratan los aspectos relacionados con las estructuras de aliviadero.

Un aspecto importante que debe tenerse en cuenta en los sistemas combinados es la variación de la calidad del agua combinada en relación con el hidrograma de escorrentía pluvial. Las primeras etapas del limbo ascendente del hidrograma tienen asociado normalmente el lavado de la escorrentía superficial de las áreas de drenaje y, por lo tanto, tienen la mayor concentración de contaminantes urbanos. En períodos posteriores del hidrograma, las concentraciones disminuyen. El diseño de estructuras de control y aliviadero de caudales debe, por lo tanto, tener consideraciones con relación a este aspecto.

D.5.5 COSTOS ECONÓMICOS DE SISTEMAS COMBINADOS

En general para todos los **niveles de complejidad del sistema**, se debe dar preferencia a los sistemas de recolección y evacuación separados versus los combinados. En aquellos casos en que la persona prestadora del servicio público de alcantarillado determine que se debe utilizar un sistema de recolección y evacuación combinado, dicha selección debe basarse en la comparación de los costos y beneficios de esta alternativa, frente a la alternativa de un sistema separado.

En el caso de sistemas de saneamiento básico, el enfoque costo eficiencia permite seleccionar la alternativa de mínimo costo, tal como se establece en el Capítulo IX, artículos 48, 49 y 50 de la Resolución 1096 de 2000, expedida por el Ministerio de Desarrollo Económico sobre Evaluación Socioeconómica. En el caso de sistemas combinados, los costos están representados por los costos de las tuberías, los costos de instalación de las redes, los costos de las estructuras complementarias, (dentro de las cuales están los aliviaderos), las estaciones de bombeo, las estaciones elevadoras, los costos de tratamiento de las aguas no aliviadas y los costos asociados a la contaminación producida en los cuerpos receptores de las aguas aliviadas y/o de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales. Teniendo en cuenta lo anterior, existe un punto de costo total mínimo que es función de los niveles de aliviadero y del tratamiento, cuyos costos son complementarios. Una vez determinada la alternativa de mínimo costo para el sistema combinado, ésta debe confrontarse con la alternativa de mínimo costo del sistema separado.

D.5.6 ASPECTOS DE LA PUESTA EN MARCHA

Desde el momento en que se lleva a cabo el diseño de un sistema de recolección y evacuación de aguas combinadas, el diseñador debe establecer todos los aspectos de la puesta en marcha de la red de alcantarillado combinado, siguiendo lo establecido en los literales D.3.4 y D.4.6 de este título.

D.5.7 ASPECTOS DE LA OPERACIÓN

Con respecto a la operación, control y seguimiento y todos los aspectos de diseño que intervienen en estas actividades, el diseñador debe seguir lo establecido en los literales D.3.5 y D.4.7 de este título.

D.5.8 ASPECTOS DEL MANTENIMIENTO

Con respecto a todos los aspectos del mantenimiento de los sistemas de recolección y evacuación de aguas combinadas, que estén relacionadas con el diseño, el diseñador debe seguir todo lo establecido en los literales D.3.6 y D.4.8 de este título.

D.5.9 REHABILITACIÓN DE REDES

Con respecto a la rehabilitación del sistema de alcantarillado combinado, el diseñador debe tener en cuenta todo lo establecido en los literales D.3.7 y D.4.9 de este título.

CAPÍTULO D.6

D.6. HIDRÁULICA DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADO**D.6.1 ALCANCE**

Este capítulo tiene como objetivo indicar todos los aspectos hidráulicos que se deben tener en cuenta en las redes de alcantarillado que se diseñen y se construyan como parte del sistema de recolección y evacuación de aguas lluvias y aguas residuales, en forma separada o combinada. Se muestran los aspectos teóricos, las suposiciones y las condiciones generales necesarias para llevar a cabo el diseño de cada uno de los tramos que conforman el sistema de drenaje. Se incluyen todas las variables que deben considerarse dentro del diseño hidráulico así como las ecuaciones de flujo uniforme, haciendo énfasis en su manejo y en las restricciones hidráulicas en cada una de ellas.

Adicionalmente se incluyen todas las ecuaciones, metodologías y aspectos hidráulicos que se deben tener en cuenta para llevar a cabo la comprobación de los diseños cuando sea pertinente, haciendo uso de flujo gradualmente variado o flujo no permanente en el sistema de alcantarillado.

D.6.2 DISEÑO HIDRÁULICO DE CONDUCTOS PARCIALMENTE LLENOS**D.6.2.1 Tipos de flujo para el diseño**

En general, cada uno de los tramos que forman parte del sistema de alcantarillado debe diseñarse como un conducto a flujo libre por gravedad. El flujo de aguas residuales o de aguas lluvias en una red de alcantarillado para su recolección y evacuación no es permanente. Sin embargo, el dimensionamiento hidráulico de la sección transversal de cada tramo puede hacerse suponiendo que el flujo es uniforme, debido a que siempre va a existir una tendencia a establecer este tipo de flujo. Esto es particularmente válido para los tramos de diámetro pequeño.

En ingeniería existen diferentes ecuaciones de flujo uniforme apropiadas para este tipo de cálculo, dentro de las cuales se destacan la ecuación de Darcy-Weisbach, en conjunto con la ecuación de Colebrook-White y la ecuación de Manning. 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. A continuación se muestran, respectivamente, las ecuaciones antes mencionadas:

1. Ecuación de Darcy-Weisbach

$$v = -2\sqrt{8gRS} \log_{10} \left(\frac{k_s}{14.8R} + \frac{2.51\nu}{4R\sqrt{8gRS}} \right) \quad (\text{D.6.1})$$

2. Ecuación de Manning

$$v = \frac{R^{2/3}\sqrt{S}}{n} \quad (\text{D.6.2})$$

donde:

- v = Velocidad media del flujo (m/s).
- R = Radio hidráulico (m).
- S = Pendiente longitudinal de la tubería (m/m).
- ν = Viscosidad cinemática (m²/s).
- k_s = Rugosidad absoluta de la tubería (m).
- g = Aceleración de la gravedad (m/s²).
- n = Coeficiente de rugosidad de Manning (s/m^{1/3}).

En aquellos casos en los cuales después de haber realizado el diseño de la sección transversal, se tengan tuberías con diámetros iguales o superiores a 600 mm y menores que 900 mm, se debe llevar a cabo una comprobación del comportamiento hidráulico del sistema diseñado, en forma ensamblada, bajo la condiciones de flujo gradualmente variado. En aquellos casos en que el sistema de recolección y evacuación de aguas residuales y aguas lluvias tenga tuberías con diámetros iguales o superiores a 900 mm, la comprobación del diseño debe realizarse bajo la condición de flujo no permanente.

Debido a la inestabilidad inherente al estado de flujo crítico, el diseño debe evitar situaciones en las cuales el flujo uniforme de un tramo particular se encuentre en el rango de 0,9 a 1,1 para el número de Froude. En caso que el diseño de un tramo en particular dé como resultado un flujo con número de Froude en este rango, el diseñador debe proceder a hacer algunos ajustes, en particular en la pendiente de dicho tramo, a fin de garantizar que el flujo cumpla con dicha restricción. En aquellos casos en que no sea posible ajustar la pendiente, el diseñador puede permitir números de Froude dentro de este rango pero limitando la relación de llenado a máximo 0,7.

D.6.2.2 Caudal de diseño

El diseñador debe definir el caudal de diseño de cada tramo del sistema de acuerdo con cada tipo de alcantarillado objeto del diseño. Esta información se obtiene haciendo uso del capítulo D.3 de este título para los sistemas de alcantarillado de aguas residuales, del capítulo D.4 de este título para los sistemas de alcantarillado de aguas lluvias y del capítulo D.5 de este título para los sistemas de alcantarillado combinado.

D.6.2.3 Diámetros

Los cálculos hidráulicos de tuberías fluyendo parcialmente llenas deben hacerse teniendo en cuenta el diámetro real interno de las tuberías y no los diámetros nominales. De acuerdo con lo establecido en el literal D.2.3 referente a la generación de alternativas, se recomienda que el diseño se realice para tres materiales diferentes, que estén disponibles en el mercado y que cumplan con las especificaciones técnicas del proyecto; además, se debe tener en cuenta para cada uno de estos materiales sus respectivos diámetro real interno y coeficiente de rugosidad absoluta. De todas formas, el diseñador debe determinar si las condiciones constructivas y económicas invalidan el uso de algún material, en alguna parte de la red de alcantarillado, antes de proceder con el análisis beneficio/costo.

D.6.2.4 Pendientes de las tuberías

De acuerdo con el tipo de sistema de alcantarillado objeto del diseño, se deben escoger los valores máximos y mínimos de las pendientes que pueden permitirse en la tubería de acuerdo con lo establecido en los literales D.3.3.10 y D.4.3.7 para sistemas de alcantarillado de aguas residuales y para sistemas de alcantarillado de aguas lluvias y alcantarillados combinados respectivamente.

En el caso de que la pendiente de la tubería sea superior al 10%, en el diseño hidráulico se debe tener en cuenta que bajo la condición de flujo uniforme, para este tipo de pendientes, la distribución hidrostática de presiones deja de ser válida. Por consiguiente, en las ecuaciones de análisis de flujo gradualmente variado y de flujo no permanente debe incluirse el factor $\cos\theta$, siendo θ el ángulo del fondo de la tubería con respecto a la horizontal.

D.6.2.5 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 para el cálculo del factor de fricción, es aplicable a todos los regímenes de flujo turbulento, desde hidráulicamente liso hasta hidráulicamente rugoso..

El factor de fricción 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 D.6.1 se muestran las rugosidades absolutas para diferentes materiales en tuberías y ductos para sistemas de alcantarillado de acuerdo con el literal D.2.7.11.

Tabla D.6.1 Coeficientes de rugosidad absoluta k_s ⁹

Tipos de materiales y conductos	Condición	K_s (mm)
Conductos de cobre y latón arrastrado y prensado, tubos de vidrio y plástico	Técnicamente liso, también conductos con enchapados metálicos (cobre, níquel, cromo)	0,00135 – 0,00152
	Nuevo	0,0015 – 0,0070
Tubos de acero sin costuras Enrollados y dirigidos (comercial) nuevos	cobertura enrollada típica	0,02 – 0,06
	Corroído	0,03 – 0,04
	Sin corrosión	0,03 – 0,06
	Acero inoxidable con inyección de cobertura de metales	0,08 – 0,09
	Cobertura de zinc limpia	0,07 – 0,10
	Comercial cubierto de zinc	0,10 – 0,16
Hojas de acero soldado, nuevos	cobertura enrollada típica	0,04 – 0,10
	Cubierto de bitumen	0,01 0,05
	Cubierto de cemento	Sobre 0,18
	Tubos de presión galvanizados	Sobre 0,008
Tubos de acero usado	Con marcas de óxido simétricas	Sobre 0,15
	Moderadamente oxidadas, ligeramente incrustado	0,15 – 0,40
	Moderadamente incrustado	Sobre 0,15
	Altamente incrustado	2 – 4
	Limpias después de largo uso	0,15 – 0,20
	Cubierto de bitumen, parcialmente dañada, oxidada	
	Después de muchos años de servicio	Sobre 0,1
	Depósitos en forma de hojas	Sobre 0,5
25 años en servicio, brea irregular y depósitos de naphthalina	Sobre 1,1	
	Sobre 2,5	
Tubos de hierro fundido	Nuevo, cobertura fundida típica	0,2 – 0,3
	Nuevo, cubierto de bitumen	0,1 – 0,13
	Usado, oxidado	1 – 1,5
	Incrustado	1,5 – 4
	Limpio después de muchos años de servicio	0,3 – 1,5
		Sobre 1,2
	Alcantarillados urbanos	4,5
Altamente oxidado		
Tuberías de concreto	Nuevo, comercial, tractos lisos	0,3 – 0,8
	Nuevo, comercial, rugosidad media	1 – 2

⁹ Fuente: K_s (extraído de Richter, 1971). Waste Water Hydraulics. Theory and Practice Willi H. Hagger – segunda edición. 2010

RAS. Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales Domésticas y Aguas Lluvias

	Nuevo, comercial rugoso	2 – 3
	Nuevo, concreto reforzado, liso	0,1 - 0,15
	Nuevo, concreto fundido centrifugado, liso	0,1 – 0,15
	Nuevo, hierro fundido centrifugado, sin yeso	0,2 – 0,8
	Conductos lisos después de muchos años de servicio	0,2 – 0,3
	Valor medio para extensión de tubos sin juntas	0,2
	Valor medio para extensión de tubos con juntas	2,0
Tubos de asbestos cemento	Nuevo, liso	0,03 – 0,10
Tubos de cerámica	Nuevo, tubo de drenaje	Sobre 0,7
	Nuevo, hecho de ladrillo de arcilla cruda	Sobre 9

Los profesionales al elaborar los diseños o realizar los diagnósticos para las optimizaciones deben tener presente la situación de los sistemas de alcantarillado y de esa manera definir un k_s que permita verificar el cumplimiento hidráulico de la red en condiciones de operación iniciales o al final de la vida útil y en diferentes condiciones del estado de los sistemas.

Cuando se haga uso de la ecuación de Manning para el diseño de tuberías en sistemas de alcantarillados, el coeficiente de rugosidad n de Manning que debe utilizarse depende, en general, del tipo de material del ducto. Para los niveles de complejidad de sistema medio alto y alto, el valor del coeficiente n de rugosidad de Manning en tuberías de pared lisa debe definirse entre 0.009 y 0.013, previa aprobación de la persona prestadora. Este valor será establecido bajo la responsabilidad del diseñador con base en: a) una sustentación técnico - económica incluidos los factores antes mencionados; b) la predicción razonable de que el alcantarillado va a ser adecuadamente construido, operado y mantenido, c) un diseño que tenga en cuenta estimaciones reales de caudal pico diario.

Para los niveles de complejidad de sistema bajo y medio, donde las condiciones de mantenimiento preventivo se hacen en forma ocasional, el coeficiente n de rugosidad de Manning se debe establecer con base en la tabla D.6.2

Tabla D.6.2. Valores del coeficiente de rugosidad de Manning para varios materiales	
Material	N
<i>CONDUCTOS CERRADOS</i>	
Asbesto – cemento	0.011 – 0.015
Concreto prefabricado interior liso	0.011 – 0.015
Concreto prefabricado interior rugoso	0.015 – 0.017
Concreto fundido en sitio, formas lisas	0,012 – 0,015
Concreto fundido en sitio, formas rugosas	0,015 – 0,017
Gres vitrificado	0.011 – 0.015
Hierro dúctil revestido interiormente con cemento	0.011 – 0.015
PVC, polietileno y fibra de vidrio con interior liso	0.010 – 0.015

<i>Metal corrugado</i>	0.022 – 0.026
Colectores de ladrillo	0.013 – 0.017
CONDUCTOS ABIERTOS	
Canal revestido en ladrillo	0.012 – 0.018
Canal revestido en concreto	0.011 – 0.020
Canal excavado	0.018 – 0.050
Canal revestido rip-rap	0.020 – 0.035

Debe tenerse en cuenta que los valores mostrados en dicha 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 de flujo y el diámetro interno de la tubería de acuerdo con lo establecido en el literal D.6.2.7.2 de este título.

En todos los casos el diseñador deberá sustentar adecuadamente el valor del “ n ” que utilice en su diseño asumiendo la responsabilidad por sus análisis y recomendaciones y debe utilizar en sus cálculos el diámetro real interno.

Los valores presentados en la Tabla D.6.1 y la Tabla D.6.2 representan los coeficientes de rugosidad de la pared interna de las tuberías de alcantarillado de aguas residuales y/o lluvias que deben utilizarse en caso de no obtenerlos de una guía de producto certificada por el fabricante de las mismas. Sin embargo, las personas prestadoras del servicio deben seleccionar los coeficientes de rugosidad operativos que mejor se ajusten la comprobación hidráulica de sus sistemas cuando su **nivel de complejidad sea alto** y como recomendación cuando su **nivel de complejidad sea medio alto**.

D.6.2.6 Propiedades geométricas de ductos en sistemas de alcantarillados

Los sistemas de alcantarillado están conformados principalmente por tuberías de sección circular en las cuales el flujo no ocupa la totalidad de la sección transversal. Las propiedades geométricas de la sección transversal circular fluyendo parcialmente llena se describen teniendo en cuenta el diámetro real interno de la tubería y el ángulo subtendido entre el centro de la sección transversal y los puntos de contacto entre la superficie libre y la circunferencia de la tubería, tal como se muestra en la Figura D.6.1.

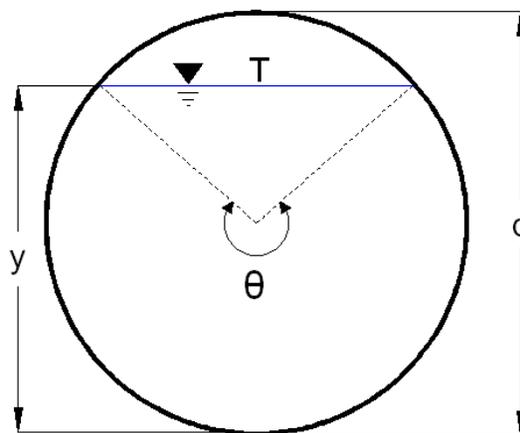


Figura D.6.1 Características geométricas de la sección circular

El ángulo subtendido desde el centro de la sección transversal y los puntos de contacto entre la superficie libre y la circunferencia de la tubería está dado por la ecuación ((D.6.3).

$$\theta = 2 \cos^{-1} \left(1 - \frac{2y}{d} \right) \quad (\text{D.6.3})$$

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).
- y = Profundidad del agua (m).
- d = Diámetro real interno de la tubería (m).

Teniendo en cuenta el ángulo antes descrito y el diámetro real interno de la tubería, el área mojada de la sección transversal se calcula de acuerdo con la ecuación ((D.6.4).

$$A = \frac{d^2}{8} (\theta - \text{sen}\theta) \quad (\text{D.6.4})$$

donde:

- A = Área mojada transversal (m²).
- d = Diámetro real interno de la tubería (m).
- θ = Ángulo subtendido entre el centro de la tubería y la superficie libre (rad).

El perímetro mojado correspondiente al área mojada se calcula de acuerdo con la ecuación ((D.6.5).

$$P = \frac{1}{2} \theta d \quad (\text{D.6.5})$$

donde:

- P = Perímetro mojado de la sección de flujo (m).
- d = Diámetro real interno de la tubería (m).
- θ = Ángulo subtendido entre el centro de la tubería y la superficie libre (rad).

El radio hidráulico de la sección de la tubería corresponde a la división del área mojada por el perímetro mojado y se calcula de acuerdo con la ecuación ((D.6.6).

$$R = \frac{d}{4} \left(1 - \frac{\text{sen}\theta}{\theta} \right) \quad (\text{D.6.6})$$

donde:

- R = Radio hidráulico de la sección de flujo (m).
- d = Diámetro real interno de la tubería (m).
- θ = Ángulo subtendido entre el centro de la tubería y la superficie libre (rad).

Finalmente, el ancho en la superficie se calcula de acuerdo con la ecuación ((D.6.7).

$$T = d \text{sen}(\theta/2) \quad (\text{D.6.7})$$

donde,

- T = Ancho de la sección del canal en la superficie libre (m).
- d = Diámetro real interno de la tubería (m).
- θ = Ángulo subtendido entre el centro de la tubería y la superficie libre (rad).

En la Figura D.6.2 se muestra la variación de los elementos hidráulicos de una sección circular fluyendo parcialmente llena como función de la relación entre la profundidad de flujo y el diámetro real interno de la tubería.

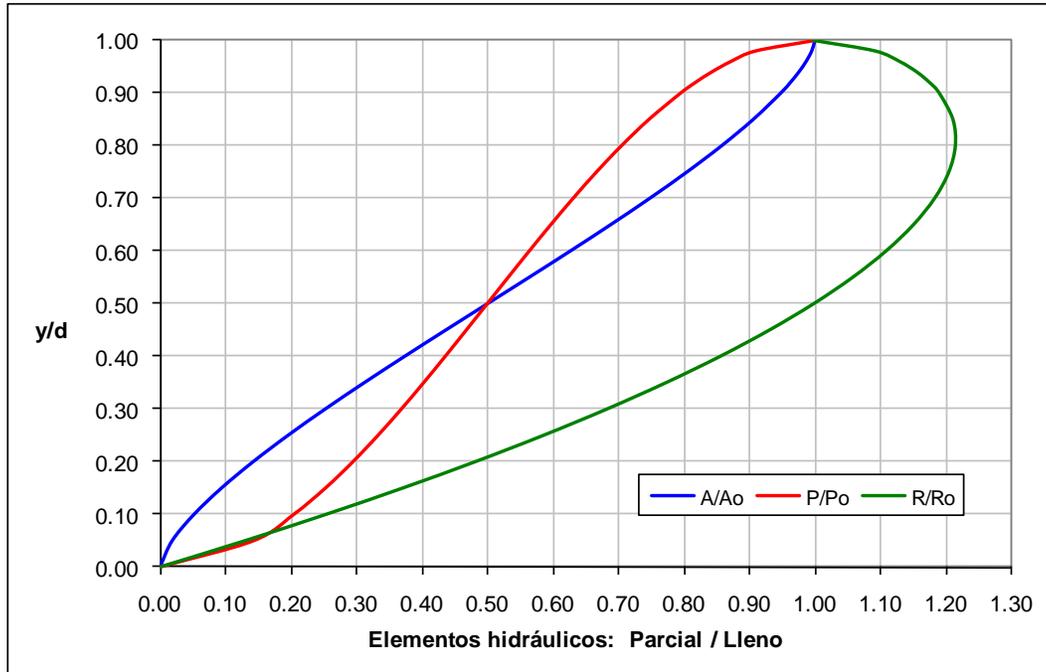
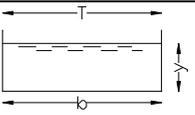
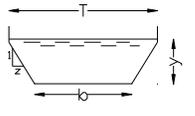


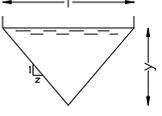
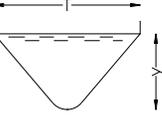
Figura D.6.2 Elementos geométricos de una sección circular

En algunos casos, los sistemas de alcantarillado pueden incluir ductos para el transporte de agua con secciones diferentes a una sección circular parcialmente llena. El uso de este tipo de ductos es frecuente en zonas bajas de los sistemas de alcantarillado hacia las cuales han confluído un alto número de subsistemas de drenaje.

Adicionalmente, los sistemas de alcantarillado pueden tener otros tipos de ducto que conforman canales a superficie libre. En la Tabla D.6.2 se muestran las propiedades geométricas de ductos con algunas secciones diferentes a la sección transversal circular fluyendo parcialmente llena, las cuales deben utilizarse en las ecuaciones de cálculo de flujo uniforme con el fin de llevar a cabo el dimensionamiento de la sección transversal.

Tabla D.6.2 Propiedades geométricas de ductos con secciones diferentes a la sección circular

Sección Transversal	Área (A)	Perímetro mojado (P)	Radio Hidráulico (R)	Ancho Superficial (T)	Profundidad hidráulica (D)	Factor de sección (Z)
 Rectángulo	by	$b + 2y$	$\frac{by}{b + 2y}$	b	y	$by^{3/2}$
 Trapecio	$(b + zy)y$	$b + 2y\sqrt{1 + z^2}$	$\frac{(b + zy)y}{b + 2y\sqrt{1 + z^2}}$	$b + 2zy$	$\frac{(b + zy)y}{b + 2zy}$	$\frac{((b + zy)y)^{3/2}}{\sqrt{b + 2zy}}$

Sección Transversal	Área (A)	Perímetro mojado (P)	Radio Hidráulico (R)	Ancho Superficial (T)	Profundidad hidráulica (D)	Factor de sección (Z)
 <p>Triángulo</p>	zy^2	$2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zy}{2y\sqrt{1+z^2}}$	$2zy$	$\frac{1}{2}y$	$\frac{\sqrt{2}}{2}zy^{5/2}$
 <p>Parábola</p>	$\frac{2}{3}Ty$	$T + \frac{8y^2}{3T}$	$\frac{2T^2y}{3T^2 + 8y^2}$	$\frac{3A}{2y}$	$\frac{A}{T}$	$\frac{2}{9}\sqrt{6}Ty^{5/2}$

D.6.2.7 Ecuaciones de flujo uniforme para el diseño de conductos cerrados

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

D.6.2.7.1 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. En la ecuación ((D.6.8) se muestra la ecuación de Darcy-Weisbach.

$$h_f = f \frac{L}{4R} \frac{v^2}{2g} \quad (D.6.8)$$

donde:

- h_f = Pérdidas por fricción (m).
- f = Factor de fricción de Darcy (adimensional).
- L = Longitud de la tubería (m).
- v = Velocidad media del flujo (m/s).
- R = Radio hidráulico del flujo (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:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \text{Log}_{10} \left(\frac{k_s}{14.8R} + \frac{2.51}{\text{Re}\sqrt{f}} \right) \quad (D.6.9)$$

donde:

- f = Factor de fricción de Darcy (adimensional).
- k_s = Rugosidad absoluta de la tubería (m).
- R = Radio hidráulico del flujo (m).
- Re = Número de Reynolds (adimensional).

* Aproximación satisfactoria para el intervalo $0 < x \leq 1$, donde $x=4y/T$. Cuando $x>1$, se debe utilizar la expresión exacta $P = (T/2)(\sqrt{1+x^2} + 1/x \ln(x + \sqrt{1+x^2}))$

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.

$$Q = -2A\sqrt{8gRS} \text{Log}_{10} \left(\frac{k_s}{14.8R} + \frac{2.51\nu}{4R\sqrt{8gRS}} \right) \quad (\text{D.6.10})$$

donde:

- Q = Caudal de flujo (m^3/s).
- R = Radio hidráulico (m).
- S = Pendiente longitudinal de la tubería (m/m).
- ν = Viscosidad cinemática (m^2/s).
- k_s = Rugosidad absoluta (m).
- g = Aceleración de la gravedad (m/s^2).

D.6.2.7.2 Ecuación de Manning

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:

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (\text{D.6.11})$$

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.

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2} \quad (\text{D.6.12})$$

donde:

- v = Velocidad media del flujo (m/s).
- Q = Caudal del flujo (m^3/s).
- R = Radio hidráulico (m).
- A = Área mojada transversal (m^2).
- S = Pendiente longitudinal de la tubería (m/m).
- ν = Viscosidad cinemática (m^2/s).
- n = Coeficiente de rugosidad de Manning ($\text{s}/\text{m}^{1/3}$).
- g = Aceleración de la gravedad (m/s^2).

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 Figura D.6.3 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.

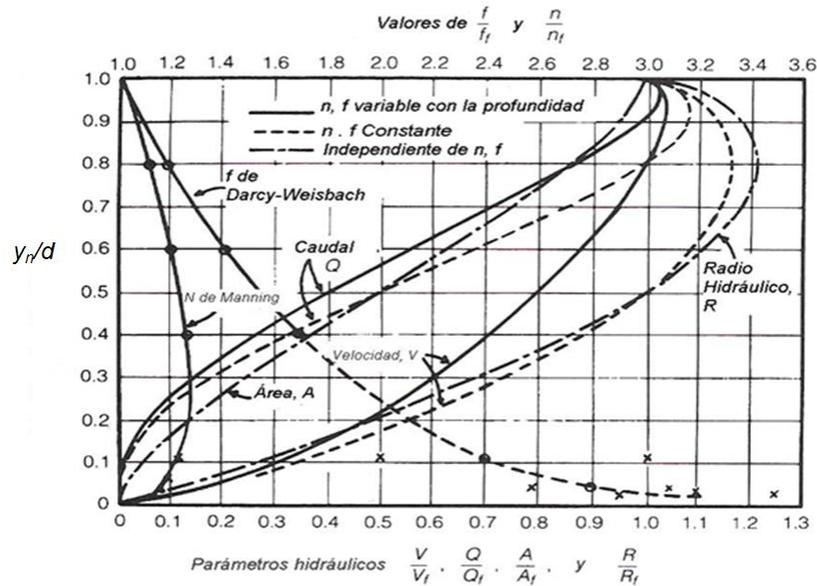


Figura D.6.3 Variación de los coeficientes de rugosidad a diferentes profundidades de flujo ¹⁰

Alternativamente, se podrá hacer uso de la siguiente ecuación a fin de calcular el coeficiente n de Manning como función del diámetro de la tubería, de la relación de llenado y del coeficiente correspondiente a tubo lleno:

$$\frac{n}{n_f} = 0.9987 + 3.4616 \left(\frac{h}{D}\right) - 14.7108 \left(\frac{h}{D}\right)^2 + 27.2574 \left(\frac{h}{D}\right)^3 - 23.4963 \left(\frac{h}{D}\right)^4 + 7.4909 \left(\frac{h}{D}\right)^5 \quad (\text{D.6.13})$$

$$\frac{n}{n_f} = 1 + 0.005 \theta^{1.2} (2\pi - \theta)^{2.2} \quad (\text{D.6.14})$$

donde:

- n = Coeficiente de rugosidad de Manning.
- n_f = Coeficiente de rugosidad de Manning a tubo lleno.
- h = Profundidad de flujo.
- D = Diámetro de la tubería.
- θ = Ángulo de la superficie del agua.

D.6.2.8 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 (D.6.15) mostrada a continuación:

$$\tau = \gamma R S \quad (\text{D.6.15})$$

donde:

¹⁰ Fuente: Design and Construction of Urban Stormwater Management Systems. ASCE, Manual and Reports of Engineering Practice Nº 77, 1982.

¹¹ Fuente: WONG, T. Discussion of "Explicit solutions of the Manning equation for partially filled circular pipes" Can. J. Civ. Eng. 33: 349-350 (2006)

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

La expresión anterior no debe ser utilizada para calcular el esfuerzo cortante en tuberías con pendiente igual o superior al 10%, en dicho caso se debe utilizar la ecuación (D.6.16):

$$\tau = \gamma R \text{Sen} (\arctan(S)) \quad (\text{D.6.16})$$

donde:

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

D.6.2.9 Régimen de flujo

Con respecto al régimen de flujo, el flujo uniforme en una tubería o ducto de un sistema de alcantarillado, puede ser crítico, subcrítico, supercrítico o cuasicrítico de acuerdo con las siguientes desigualdades:

$$Fr = 1,0 \text{ Flujo crítico} \quad (\text{D.6.17})$$

$$Fr < 1,0 \text{ Flujo Subcrítico}$$

$$Fr > 1,0 \text{ Flujo Supercrítico}$$

En donde el número de Froude está descrito mediante la ecuación (D.6.17) mostrada a continuación:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gD}} \quad (\text{D.6.17})$$

donde:

- Fr = Número de Froude (adimensional).
- v = Velocidad media de flujo (m/s).
- g = Aceleración de la gravedad (m/s²).
- D = Profundidad hidráulica (m).

La profundidad hidráulica de una tubería parcialmente llena se puede determinar mediante la ecuación (D.6.18).

$$D = \frac{d}{8} \left(\frac{\theta - \text{sen}\theta}{\text{sen}(\theta/2)} \right) \quad (\text{D.6.18})$$

donde:

- D = Profundidad hidráulica (m).
- θ = Ángulo subtendido entre el centro de la tubería y la superficie libre (rad).
- d = Diámetro real interno de la tubería (m).

Una de las características del flujo crítico y del flujo cuasicrítico (cuando el número de Froude se encuentra entre 0,9 y 1,1) es su inestabilidad y la variabilidad de la profundidad de flujo alrededor de la profundidad crítica de flujo. Por consiguiente, el diseño bajo flujo uniforme de cada tramo debe evitar aquellas velocidades y profundidades de flujo que impliquen un número de Froude en este intervalo. Si esto no es posible, se debe limitar la máxima relación de llenado a 0,7. 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, en el diseño se debe poner especial cuidado en la posible generación de ondas de choque en las estructuras. La presencia de este tipo de ondas va acompañada de generación de ruidos molestos en el sistema de alcantarillado, así como posibles problemas de socavación en las estructuras complementarias. En caso de que se tenga un régimen de flujo supercrítico en las tuberías, en el diseño se deben 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 estructuras apropiadas para resolver la problemática.

D.6.3 DISEÑO HIDRÁULICO DE REDES DE ALCANTARILLADO

En un sistema de alcantarillado, el diseño tramo a tramo bajo la condición de flujo uniforme no es suficiente. Desde la etapa de diseño, se debe entender el comportamiento hidráulico de la red de alcantarillado como un todo. Para esto, y dependiendo del tamaño del sistema, es necesario hacer un análisis hidráulico de flujo gradualmente variado o de flujo no permanente, lo cual es el tema de este literal.

D.6.3.1 Generación de alternativas de diseño

Siempre que se diseña una red de tuberías, existe una gran cantidad de combinaciones de diámetros y pendientes, para cada tubo, además de todos los materiales para todos los tubos que la conforman, que cumplen con los requerimientos hidráulicos del diseño. Por consiguiente, en el diseño de la red de alcantarillado se debe buscar la alternativa económica óptima de combinación de estos parámetros que cumplan con todas las restricciones hidráulicas.

Para el diseño deben tenerse en cuenta todos los materiales establecidos en el literal D.2.7.11 de este título, que cumplan con las especificaciones técnicas del proyecto, y el cálculo del diámetro de cada alternativa debe seguir lo establecido en el literal D.2.3.3. La selección del diseño final detallado debe basarse en criterios hidráulicos y tal diseño debe ser evaluado dentro de un proceso de optimización económica.

Para **sistemas con nivel de complejidad alto**, y como recomendación para **sistemas con nivel de complejidad medio alto**, y con el fin de que el cálculo del diseño óptimo económico cumpla con todas las restricciones hidráulicas, se permite utilizar cualquier programa de análisis de redes de alcantarillado que incluya el diseño optimizado mediante técnicas de inteligencia artificial (p.ej. algoritmos genéticos, lógica difusa, sistemas expertos, etc.) incluyendo los costos de los materiales e instalación de las tuberías y, los costos de operación y mantenimiento a lo largo de la vida útil del proyecto.

D.6.3.2 Topología de la red de alcantarillado

Con el fin de llevar a cabo la verificación del funcionamiento hidráulico de una red de alcantarillado, una vez que han sido diseñados cada uno de los tubos bajo régimen de flujo uniforme, se debe tener un modelo completo con toda la información topológica de la red. Esta información debe incluir las secciones transversales de cada uno de los ductos, los diámetros internos reales para aquellos ductos con sección circular, las dimensiones internas reales para aquellos ductos con secciones no circulares, las pendientes y longitudes de cada ducto, los materiales que conforman las paredes internas de cada ducto, las cámaras de inspección, las cámaras de caída, los aliviaderos en alcantarillados combinados, los puntos de vertimiento y, particularmente, las cotas de cada uno de los nodos de la red.

D.6.3.3 Caudales para el diseño hidráulico

Para todos los nodos de la red de alcantarillado, ya sea en un sistema con descarga de aguas residuales, de aguas lluvias o de ambas, el diseñador debe definir los caudales de aporte que luego van a ser transportados por la red, bajo diferentes escenarios, de acuerdo con las metodologías definidas para cada uno de los tipos de alcantarillado descritos en los capítulos D.3, D.4 y D.5 de este título. En particular, para el caso de los caudales de aguas residuales, la verificación hidráulica debe llevarse a cabo tanto para los caudales correspondientes al período de diseño como para los caudales correspondientes al momento de puesta en funcionamiento del sistema.

D.6.3.4 Pérdidas menores en accesorios y estructuras de conexión

El diseñador debe tener en cuenta todas las pérdidas de energía que se presentan debido a las estructuras de conexión, otras estructuras y demás accesorios que formen parte de la red de alcantarillado. En particular debe tener en cuenta las uniones de los tramos con las cámaras de inspección, las cámaras de caída, los aliviaderos en alcantarillados combinados y cualquier otra estructura que produzca altas pérdidas de energía.

El diseñador debe escoger el método y la forma de cálculo de las pérdidas menores, incluyendo los correspondientes coeficientes, los cuales se encuentran definidos en el literal D.7.3 de este título, correspondiente a las estructuras complementarias en sistemas de alcantarillado.

D.6.3.5 Cambios bruscos de la pendiente

En lo posible, deben evitarse los cambios bruscos de la pendiente en los tramos de colectores. En caso de un aumento importante de la pendiente, y mientras lo permitan las condiciones hidráulicas en los colectores y en las estructuras de unión, al igual que los aportes incrementales de caudal aguas abajo, puede reducirse el diámetro interior de la tubería de salida, siempre que éste sea mayor o igual a 600 mm. Para esto deben revisarse los aspectos operativos y de mantenimiento de la conexión complementando lo anterior con la verificación de la línea de gradiente hidráulico de la estructura para evitar sobrecargas en el sistema.

D.6.3.6 Cálculo de la línea de gradiente hidráulico y la línea de energía total

En aquellos casos en los cuales alguno de los tramos que conforman el sistema de alcantarillado tenga un diámetro mayor o igual a 600 mm y ninguna de las tuberías tenga un diámetro superior a 900 mm, con el fin de verificar que no ocurran sobrecargas en el sistema de alcantarillado para ninguna de las condiciones de caudal establecidas para el cálculo del funcionamiento hidráulico de la red, el diseñador debe calcular la línea de gradiente hidráulico y la línea de energía total para todo el sistema ensamblado, bajo condiciones del flujo gradualmente variado, teniendo en cuenta lo establecido en los siguientes literales.

D.6.3.6.1 Consideraciones generales del flujo gradualmente variado

Para el cálculo del flujo gradualmente variado el diseñador debe tener en cuenta todos los controles de flujo que existan en el sistema de alcantarillado, así como las pérdidas por fricción y las pérdidas menores en cada uno de los ductos. Además se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones fundamentales y restricciones:

1. La pendiente del fondo de cada uno de los ductos debe ser menor que el 10%, con el fin de poder utilizar la suposición de distribución hidrostática de presiones a través de la sección de cada ducto.
2. El flujo debe ser permanente.
3. El flujo debe ser de fase única, es decir no puede haber aire atrapado en el flujo.
4. La rugosidad de cada uno de los conductos debe ser constante a lo largo del perímetro mojado de cada uno de ellos.
5. Las pérdidas por fricción se pueden modelar de acuerdo con las ecuaciones de resistencia utilizadas para el caso del flujo uniforme, tal como se estableció en el literal D.6.2.7 de este título.
6. 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 (D.6.19) para el cálculo de los perfiles de flujo.

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S - S_f}{1 - Fr^2} \quad (\text{D.6.19})$$

donde:

- $\frac{dy}{dx}$ = Cambio de la profundidad de flujo con respecto al eje longitudinal de análisis (adimensional).
 S = Pendiente del fondo de tramo analizado (m/m).
 S_f = Pendiente de fricción del flujo (m/m).
 Fr = Número de Froude promedio de la sección de análisis (adimensional).

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 (D.6.20):

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S \times \cos\theta - S_f}{\cos\theta - Fr^2} \quad (D.6.20)$$

donde:

θ = Ángulo de la pendiente del fondo del canal o ducto bajo consideración [$\theta = \arctan(S)$].

D.6.3.6.2 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:

1. Calcular la profundidad de 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.
2. 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.
3. 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.
4. Para cada uno de los ductos definir el control y la dirección en que éste afecta la hidráulica del sistema.
5. Calcular en forma cualitativa el perfil del flujo gradualmente variado.
6. Utilizando cualquier método de cálculo de flujo gradualmente variado calcular el perfil real del flujo en cada una de las tuberías.
7. 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:

a. 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 (D.6.19) o ecuación (D.6.20)) se puede aproximar, mediante la siguiente ecuación de diferencias finitas:

$$\Delta x = \frac{\Delta E}{\sqrt{S} - \left(\frac{n^2 Q^2}{A^2 R^{4/3}} \right)_m} \quad (D.6.21)$$

donde:

- Δx = Distancia longitudinal entre dos secciones (m).
 ΔE = Cambio de la energía específica (m).
 S = Pendiente longitudinal del conducto (m/m).
 n = Coeficiente de rugosidad de Manning (s/m^{1/3}).
 Q = Caudal de flujo (m³/s).

- A = Área mojada transversal (m^2).
 R = Radio hidráulico (m).
 m = Representa el promedio de los valores en las secciones 1 y 2 del canal o conducto.

b. 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:

$$z_1 + y_1 + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + y_2 + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} + h_f \quad (D.6.22)$$

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 del agua en el punto 1 (m).
 y_2 = Profundidad del 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).
 α = Coeficiente de coriolis (-).
 g = Aceleración de la gravedad (m/s^2)

c. 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:

$$\int_{x_i}^{x_{i+1}} dx = x_{i+1} - x_i = \int_{y_i}^{y_{i+1}} \left(\frac{1 - Fr^2}{S - S_f} \right) dy = \int_{y_i}^{y_{i+1}} g(y) dy \quad (D.6.23)$$

$$L = x_n - x_0 = (y_{i+1} - y_i) \times \left[\frac{g(y_0) + g(y_f) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} g(y_i)}{2} \right] \quad (D.6.24)$$

donde:

- dx = Cambio en la distancia horizontal del conducto (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 = Pendiente longitudinal del conducto (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).
 L = Diferencia de abscisas en la sección de análisis (m).

D.6.3.7 Flujo no permanente en sistemas de alcantarillado

En caso de que alguno de los ductos que forman parte de la red de alcantarillado objeto del diseño tenga un diámetro mayor a 900 mm, 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 tiene por objeto obtener un mejor conocimiento del comportamiento hidráulico del sistema en redes de alcantarillado extensas y con diámetros grandes; para estos casos, la aproximación del flujo gradualmente variado puede invalidarse porque no se tienen 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 literal D.6.2.7 de este título.

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

1. 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.
2. 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.
3. La pendiente del fondo de cada uno de los ductos debe ser baja (S menor que el 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:

$$p = \rho g y \cos^2(\theta) \quad (\text{D.6.25})$$

4. 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 (D.6.25) para casos contrarios.
5. El eje longitudinal del conducto, es decir la dirección principal del flujo, debe ser aproximadamente recto.
6. El flujo debe ser de fase única, es decir, no puede haber introducción importante de aire al sistema.
7. 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 el caso de ductos con altas pendientes, la variación de la presión debe seguir siendo aquella que incluya la corrección por alta pendiente.
8. 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 estos.
9. 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.
10. 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 aliviaderos 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:

a. Ecuación de conservación de la masa

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} - q = 0 \quad (\text{D.6.26})$$

donde:

- Q = Caudal de flujo en el conducto (m^3/s).
- A = Área mojada transversal del conducto (m^2).
- q = Caudal lateral en el conducto (m^2/s).
- x = Distancia longitudinal entre dos secciones (m).
- t = Tiempo de cálculo (s).

b. Ecuación de conservación del *momentum* lineal

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\beta Q^2/A)}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial y}{\partial x} + S_f + S_s \right) - \beta q v_x = 0 \quad (\text{D.6.27})$$

donde:

- Q = Caudal de flujo en el conducto (m^3/s).
- A = Área mojada transversal del conducto (m^2).
- q = Caudal lateral en el conducto (m^2/s).
- x = Distancia longitudinal entre dos secciones (m).
- t = Tiempo de cálculo (s).
- g = Aceleración de la gravedad (m/s^2).
- y = Profundidad del agua en el conducto (m).
- S_f = Pendiente de fricción (m/m).
- S_s = 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 para las redes de recolección y evacuación de aguas residuales y/o aguas lluvias debe hacerse para la condición de caudal correspondiente al período de diseño y, en el caso particular de sistemas de alcantarillado de aguas residuales, para la condición de caudal correspondiente a la entrada en operación del sistema. En el caso de ampliaciones de sistemas de alcantarillado existentes que se conecten a sistemas de tuberías o interceptores importantes, el diseñador debe llevar a cabo el análisis bajo la condición de flujo no permanente no solamente para la red de alcantarillado objeto del diseño, sino para simular la interacción de éste con el sistema existente. Para esto, y para **sistemas con nivel de complejidad alto**, el diseñador debe contar con un modelo hidráulico calibrado de la red existente; dicho modelo debe ser suministrado por la persona prestadora del servicio público de alcantarillado del municipio o, en su defecto, el montaje y calibración de la red de alcantarillado existente debe formar parte integral del diseño a llevar a cabo.

D.6.3.8 Modelo hidráulico de la red de alcantarillado

Los cálculos de los perfiles de flujo gradualmente variado y flujo no permanente deben llevarse a cabo utilizando cualquier programa de computador que tenga capacidad de realizar dicho análisis tanto para regímenes subcrítico y crítico como para régimen supercrítico. Dicho programa debe permitir casos de aumento de caudal por entrada de aguas al sistema de alcantarillado o pérdidas de caudal en el sistema generadas específicamente en los aliviaderos en alcantarillados combinados. Cualquier programa utilizado para la determinación de la línea de gradiente hidráulico y la línea de energía total del flujo gradualmente variado y del flujo no permanente debe tener la posibilidad de incluir pérdidas menores en el análisis.

En caso de que el diseñador cuente con un programa capaz de realizar análisis de flujos no permanentes 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 series de caudales de entrada de aguas residuales en cada uno de los nodos de la red de alcantarillado.

D.6.4 CALIDAD DE AGUA EN LA RED DE ALCANTARILLADO

En el diseño hidráulico de sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales y/o aguas lluvias se debe garantizar el cumplimiento del plan de saneamiento y manejo de vertimientos (PSMV), el permiso de vertimientos o el que haga sus veces; adicionalmente se debe tener en cuenta, si existe, la caracterización de la calidad de las aguas residuales que haya sido realizada por la persona prestadora del servicio público de alcantarillado en el municipio.

De acuerdo con lo especificado en el literal D.2.9.4 de este título, en aquellos casos en los cuales no se cuente con el PSMV o que la persona prestadora del servicio público de alcantarillado, para **sistemas con nivel de complejidad alto**, lo considere necesario se debe hacer una modelación de calidad del agua en la red de alcantarillado y en los puntos de vertimiento. La modelación debe incluir la variación temporal de los siguientes parámetros:

1. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).
2. Demanda Química de Oxígeno (DQO).
3. Sólidos Suspendedos Totales (SST).

En caso de que en el municipio objeto del diseño del sistema de recolección y evacuación de aguas residuales y/o aguas lluvias ya se haya realizado un estudio sobre la calidad del agua con el análisis de estos parámetros, no se requerirá hacer un estudio o análisis de la calidad de agua para el sistema objeto del diseño.

D.6.5 PROTOCOLOS DE PRUEBA

En el diseño de toda red de alcantarillado para la recolección y evacuación de aguas residuales y/o aguas lluvias, se debe incluir un protocolo de pruebas que especifique el tipo de pruebas hidráulicas que se deben hacer al sistema antes de que éste entre en operación. En el diseño se debe incluir el tipo de operación hidráulica bajo la cual se deben hacer las pruebas, así como el tipo de mediciones de caudal, de niveles y de calidad del agua, en caso de que se requiera, en puntos específicos del sistema. En el diseño también se deben incluir los puntos de medición, con su localización y los equipos de medición especiales, estableciendo su rango de medición y su nivel de precisión.

En el protocolo de pruebas se debe establecer claramente el rango de exactitud que deben dar las medidas de campo con respecto a los cálculos hechos en el diseño, con el fin de proceder a la recepción del proyecto por parte de la persona prestadora del servicio público de alcantarillado. Para sistemas de alcantarillado que contengan al menos una tubería con un diámetro mayor o igual a 600 mm, en el protocolo de pruebas se debe incluir la verificación de perfiles de flujo gradualmente variado. Las pruebas establecidas en el protocolo de pruebas deben llevarse a cabo por parte del constructor del proyecto, una vez finalizada la construcción, bajo la supervisión de la persona prestadora del servicio público de alcantarillado.

Es potestad de la persona prestadora del servicio público de alcantarillado, para **sistemas con nivel de complejidad alto**, establecer para cuáles proyectos y en qué momentos se realizan las pruebas especificadas en el protocolo de pruebas. De todas formas, cualquier diseño de un sistema de alcantarillado debe incluir el protocolo de pruebas, el cual debe quedar especificado en las memorias de cálculo. Para **sistemas con niveles de complejidad bajo, medio y medio alto** es obligatorio llevar a cabo las pruebas establecidas por el diseñador en el protocolo de pruebas para todos los sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales y/o aguas lluvias.

D.6.6 MANUAL DE OPERACIÓN

El diseñador debe incluir dentro de sus memorias un manual de operación donde se establezca la interrelación del sistema con la red diseñada o con los elementos de la red presentados en sus diseños. Para los **sistemas** de todos los **niveles de complejidad**, como parte integral del proceso de diseño, se debe redactar y entregar a la persona prestadora del servicio público de alcantarillado, un manual donde queden establecidas las diferentes formas de operar el sistema o los elementos diseñados bajo las siguientes condiciones:

1. Operación normal en el momento de puesta en marcha del sistema.
2. Operación normal para las condiciones al final del período de diseño.
3. Operación bajo condiciones de emergencia.
4. Operación bajo condiciones especiales de mantenimiento.
5. Otras condiciones especiales de operación que hayan sido especificadas por la persona prestadora del servicio público de alcantarillado del municipio en los pliegos para la licitación del diseño.

D.6.7 USO DE TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN PARA LA HIDRÁULICA DE LAS REDES

Para los **sistemas con niveles de complejidad medio alto y alto**, las personas prestadoras del servicio deben hacer uso de sistemas de información geográfica, los cuales deben permitir el manejo de toda la información de la red de alcantarillado en un modelo digital, que dé la facilidad de generar las entradas a un modelo hidráulico de la red de drenaje en forma simple y rápida. Adicionalmente, el sistema de información geográfica debe permitir la posibilidad de realizar una actualización y seguimiento continuo de la red, alimentándola con cualquier información nueva adquirida de manera posterior y debe servir como base para el desarrollo de nuevos diseños o la comprobación hidráulica del sistema existente.

CAPÍTULO D.7

D.7. ESTRUCTURAS COMPLEMENTARIAS

D.7.1 ALCANCE

En el presente capítulo se establecen los lineamientos para el diseño, el análisis hidráulico, la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento de todas aquellas estructuras complementarias que forman parte de los sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales y aguas lluvias. Se hace énfasis en la definición y el establecimiento de aquellas condiciones que permitan determinar todos los parámetros de diseño de estructuras complementarias que se diseñen y construyan para los sistemas de alcantarillado de aguas residuales y/o lluvias.

Dentro de las estructuras complementarias se incluyen las cámaras de conexión entre tuberías, las cámaras de inspección de tuberías, las cámaras de descarga para tuberías de impulsión, las cámaras de caída, los sumideros para la captación de aguas lluvias, los aliviaderos en sistemas de alcantarillados combinados, los sifones invertidos y las estructuras de descarga y disipación de energía. Se exceptúan los lineamientos para las estaciones elevadoras y de bombeo, los cuales se presentan en el capítulo D.8 de este título.

D.7.2 CONSIDERACIONES GENERALES

Todo sistema de recolección y evacuación de aguas residuales, aguas lluvias o aguas combinadas, además de estar constituido por la red de tuberías y ductos, requiere de una serie de estructuras complementarias que cumplen dos objetivos: en primer lugar mantener un correcto funcionamiento hidráulico del sistema; y en segundo lugar permitir las labores de inspección y mantenimiento de todos los componentes del sistema. El diseñador siempre debe tener en cuenta los cambios tecnológicos en los materiales y los métodos de inspección de las estructuras complementarias de los sistemas de alcantarillado. Los criterios de diseño deben concordar con la capacidad de las tecnologías actuales de operación y mantenimiento. De todas formas, todos los aspectos relacionados con las estructuras complementarias deben enmarcarse en el manejo integral del drenaje urbano (MIDU).

El manejo integral del drenaje urbano implica también que toda estructura complementaria a un sistema de recolección y evacuación de aguas residuales y lluvias debe relacionarse con el resto de dicho sistema; para esto, se deben conocer los parámetros de calidad del agua y su evolución tanto al interior del sistema de alcantarillado como en los cuerpos receptores de las aguas de vertimiento. Se debe verificar que la operación de las estructuras complementarias cumpla con lo establecido en el plan de saneamiento y manejo de vertimientos (PSMV) aprobado por la autoridad ambiental competente para el municipio.

D.7.3 ESTRUCTURAS DE CONEXIÓN Y/O INSPECCIÓN DE TUBERÍAS

Las cámaras de conexión y/o inspección son elementos integrales de todo sistema de recolección y evacuación de aguas residuales y de aguas lluvias, que permiten la conexión en un punto de dos o más tramos de tubería y la conexión del sistema de alcantarillado con la superficie, facilitando el acceso a la red, ya sea de personas o de equipos, para adelantar labores de inspección y/o mantenimiento.

El comportamiento hidráulico de las cámaras de conexión y/o inspección de tuberías puede darse tanto para el régimen de flujo subcrítico como para el régimen de flujo supercrítico. Estos dos casos tienen comportamientos diferentes, y por consiguiente su diseño obedece a principios hidráulicos con diferentes alcances. El diseñador debe tener especial cuidado en determinar el régimen de operación de cada una de las cámaras que conforman el sistema de alcantarillado objeto del diseño y seguir lo establecido en el capítulo D.6 de este título.

D.7.3.1 Consideraciones para su proyección

En general, la forma de la cámara es cilíndrica en su parte inferior y tiene forma de cono truncado en su parte superior. El piso de las cámaras de inspección, o cañuela, es una plataforma en la cual se deben hacer canales cuyo objetivo es prolongar los conductos y encausar los caudales, cuando se requiera.

La parte superior de la cámara debe finalizar en una protección de su desembocadura a la superficie donde se debe colocar la correspondiente tapa; dicha protección debe cumplir el papel de soportar las cargas, tanto muertas como vivas que pueden quedar por encima de la estructura.

D.7.3.1.1 Acceso para la operación y el mantenimiento de la red

Las cámaras de inspección y/o conexión deben tener unas dimensiones tales que permitan todos los requisitos de inspección, operación y mantenimiento establecidos por la persona prestadora del servicio público de alcantarillado del municipio, incluyendo la maniobra de equipos en su interior. Entre estas actividades se encuentran: mantenimiento y rehabilitación del sistema, reconstrucción de tuberías deterioradas e inspección detallada de todo el sistema de alcantarillado.

Las cámaras de inspección deben estar provistas de una escalera de acceso, y los elementos mínimos de seguridad industrial para los operarios; la escalera de acceso puede ser permanente, es decir que forme parte integral de la cámara, o temporal, es decir que sea una escalera móvil y que forme parte de los equipos transportables de mantenimiento de la persona prestadora del servicio público de alcantarillado.

D.7.3.1.2 Localización de las estructuras

La localización inicial de las cámaras de conexión y/o inspección implica que cada vez que cambia un parámetro de flujo en el sistema de alcantarillado se debe colocar una estructura de conexión. Algunos ejemplos de cambios en los parámetros de flujo son los siguientes:

1. Arranque de los tramos de tuberías.
2. Cambios de dirección de flujo.
3. Cambios de diámetro de los tramos.
4. Cambios en la pendiente del fondo de las tuberías.
5. Cambios en la sección transversal de los tramos.
6. Cambios del material que conforma la pared interna de los tramos.
7. Intersección de tuberías de la red pública de alcantarillado.
8. Cada cierta longitud en tramos rectos, de acuerdo con las condiciones de limpieza diseñadas para el sistema y el diámetro interno de las tuberías.
9. Curvas en el sistema de tuberías.

D.7.3.1.3 Funciones adicionales de las estructuras de conexión y/o inspección

Las cámaras de inspección y/o conexión en sistemas de alcantarillado permiten realizar diferentes actividades adicionales a aquellas funciones básicas definidas previamente. Dentro de las actividades adicionales se encuentran las siguientes:

1. Verificación de los diseños de las estructuras especiales.
2. Aireación y desaireación del flujo (desorción de gases y vapores transportados o disueltos).
3. Liberación de sobrecarga por sobreflujos de emergencia en casos de taponamientos en el sistema, en situaciones excepcionales.

Esta última actividad no debe ser parte de un diseño y una operación adecuada en un sistema de alcantarillado. Sin embargo, en algunas condiciones particulares durante épocas de lluvia pueden darse algunas sobrecargas en el sistema de alcantarillado. Durante las sobrecargas, la línea piezométrica del flujo en una cámara podría llegar a alcanzar un nivel superior a la cota del terreno; en este caso, parte del flujo que se mueve por el sistema saldría por la boca de la cámara hacia la calle o avenida en la cual se encuentre localizada. Para evitar sobrecargas en el sistema, las estructuras deben satisfacer todas las condiciones hidráulicas y constructivas ajustadas a las actuales tecnologías para la construcción, operación y seguimiento de sistemas de alcantarillado. En particular, el diseñador debe tener siempre

presente que el régimen del flujo es un parámetro de primordial importancia en el análisis hidráulico de las estructuras de conexión e inspección en sistemas de alcantarillado.

D.7.3.2 Parámetros de diseño

Para llevar a cabo el dimensionamiento de una cámara de conexión y/o inspección, se deben tener en cuenta factores hidráulicos, geométricos y operativos. Dentro de los aspectos geométricos que el diseñador debe tener en cuenta se encuentran los siguientes: dimensión de los diámetros de las tuberías o ductos que lleguen hasta la estructura, el número de tuberías o ductos que convergen, la topografía del terreno, las diferencias de elevación entre las tuberías de entrada y la tubería de salida, y el radio de curvatura de la conexión. Por otro lado, dentro de los aspectos hidráulicos que deben tenerse en cuenta, el más importante es el régimen de flujo ya sea subcrítico, crítico o supercrítico. Por lo menos, el diseñador debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

1. No se debe permitir un ángulo de deflexión mayor a 90° sexagesimales de ninguna de las tuberías de entrada con respecto a la tubería de salida de la estructura.
2. La geometría de la estructura debe perturbar al mínimo el flujo dentro del sistema, a menos que la proyección de la misma incluya algún mecanismo de disipación de energía.
3. La estructura debe protegerse para operar bajo condiciones extremas, como altas velocidades de flujo y cambios bruscos del alineamiento horizontal y/o vertical de acuerdo con un análisis hidráulico del sistema.
4. La geometría de la estructura debe permitir el eficiente mantenimiento de ella misma. Así como también las labores de inspección del sistema.
5. El número máximo de tuberías que pueden converger a la cámara es de 4.

D.7.3.2.1 Distancia entre estructuras de conexión y/o inspección

La distancia máxima entre las estructuras de conexión y/o inspección que formen parte del sistema de alcantarillado, está directamente relacionada con el urbanismo y con el uso de equipos y métodos de limpieza en los tramos; estos equipos pueden ser manuales o mecanizados, y están siendo altamente influenciados por los nuevos avances tecnológicos.

Si los métodos utilizados para la inspección y el mantenimiento del alcantarillado por parte de la persona prestadora del servicio público de alcantarillado son manuales, las distancias máximas entre las cámaras de conexión deben ser menores que cuando se utilicen métodos mecánicos. La distancia máxima entre cámaras, para sistemas que utilizan métodos manuales de limpieza, es de 120 m; para los casos en que se utilicen métodos mecánicos o hidráulicos de limpieza, dicha distancia máxima puede llegar hasta los 200 m. En aquellos casos de sistemas de interceptores o de tramos principales y emisarios finales donde las entradas son restringidas o inexistentes, la distancia máxima entre las cámaras de inspección y/o conexión puede aumentarse como función del tipo de mantenimiento; en este caso, la distancia máxima será de hasta 300 m.

En aquellos casos en que la distancia entre las cámaras de conexión y/o inspección en las cámaras de alcantarillado sean mayores a 100 m, el diseño debe considerar la posibilidad de incluir cámaras intermedias exclusivas de inspección, con diámetros de 0,6 m, cuyo objetivo único es permitir la entrada de los equipos de inspección basados en circuito cerrado de televisión. En los casos de interceptores y tramos principales, el uso de cámaras de conexión y/o inspección con distancias superiores a las normales, debe estar basado en la modelación hidráulica de la red de alcantarillado existente por parte de la persona prestadora de este servicio.

D.7.3.2.2 Profundidad a cota clave

La profundidad mínima permitida para cámaras de conexión y/o inspección es de 1,2 m, medida desde la parte superior de la misma hasta la cota clave de la tubería más superficial conectada a ella. En aquellos casos en que por condiciones topográficas o geológicas se dificulte alcanzar la profundidad mínima, se deben construir cámaras de inspección sin cono de reducción con losa de cubierta, hasta una profundidad de 0,6 m. La losa de cubierta debe quedar a nivel de subrasante y luego continuar con el cuello de la cámara, lo anterior debe estar acompañado del respectivo diseño estructural.

D.7.3.2.3 Diámetro del orificio de acceso

El diámetro mínimo del orificio de acceso a la cámara debe ser de 0,6 m. Sin embargo, en aquellos casos en que la cámara presente una altura tal que la instalación de al menos una tubería implique intervención en el cono de reducción, se permite extender el cuerpo del cilindro hasta la superficie y construir una losa que incluya el orificio de acceso. En aquellos casos en los que se empleen estructuras de conexión y/o inspección de forma cuadrada, el orificio de acceso puede conservar esta misma forma y dimensión, teniendo en cuenta que la tapa debe ser concéntrica y que la dimensión mínima de la estructura debe ser de 0,8 m de lado.

Se debe tener en cuenta que las actuales tecnologías de inspección y de limpieza de sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales y aguas lluvias permiten utilizar cámaras con orificios de acceso sustancialmente menores al anteriormente mencionado. En caso que en el diseño se incluyan cámaras de diámetros del orificio de acceso menores al especificado, su uso debe contar con la aprobación previa de la persona prestadora del servicio público de alcantarillado del municipio.

D.7.3.2.4 Diámetro de la estructura

El diámetro de las cámaras de conexión y/o inspección en sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales y lluvias depende del tamaño de las tuberías o ductos que se conectan a la estructura, del radio de curvatura que se utilice para la conexión y del espacio requerido para ejecutar las labores de limpieza y mantenimiento. En la Tabla D.7.1 se especifican los diámetros internos mínimos que deben utilizarse en estructuras de conexión e inspección cuando las tuberías conectadas tienen diámetros menores o iguales que 900 mm. Para tuberías con diámetros mayores a 900 mm, la estructura de conexión debe ser acordada entre el diseñador y la persona prestadora del servicio público de alcantarillado.

Tabla D.7.1 Diámetro interno mínimo de estructuras de conexión

Mayor diámetro de las tuberías conectadas (mm)	Diámetro interno de la estructura (m)
De 200 a 600	1,20
Mayor que 600 hasta 750	1,50
Mayor que 750 hasta 900	1,80

Desde la etapa de diseño se permite proponer el uso de cámaras de conexión y/o inspección prefabricadas de diámetros menores a los de la Tabla D.7.1, En todo caso el diseñador podrá modular los diámetro de su estructura verificando condiciones geométricas e hidráulicas siempre y cuando estas permitan las labores de mantenimiento e inspección y sean aprobadas por la persona prestadora del servicio. El ancho del canal dentro de la estructura (ancho de cañuela) debe tener como mínimo el ancho del diámetro interno de la tubería de menor tamaño que se conecte y crecer gradualmente hacia la tubería de salida.

Se debe comprobar la viabilidad geométrica de las estructuras de conexión. Dicha viabilidad hace referencia a la verificación de si las tuberías o ductos que se encuentran conectados a la estructura, caben dentro de ésta sin cruzarse entre sí. Al utilizar una cámara de conexión o inspección diferente a las de forma circular se deben proveer todas las dimensiones y especificaciones mínimas para que su correcta construcción se lleve a cabo.

D.7.3.3 Análisis hidráulico de estructuras de conexión y/o inspección

Para el análisis hidráulico de las estructuras de conexión y/o inspección, se deben tener en cuenta las pérdidas de energía causadas por la superposición de varios efectos presentes en la estructura, entre los que se destacan los cambios de dirección del flujo, las contracciones, las expansiones, el efecto de la cañuela en el direccionamiento del flujo y la confluencia de chorros.

El principal objetivo del análisis hidráulico de una cámara de conexión y/o inspección es minimizar los efectos de las pérdidas de energía en el flujo. Las pérdidas de energía pueden reducirse siempre que se incorporen cañuelas en el fondo de las estructuras de unión. La geometría de la conexión es un factor crítico en la generación de pérdidas de energía por lo cual se recomiendan los siguientes lineamientos:

1. Minimizar los cambios de velocidad en las cámaras de conexión o inspección.
2. Minimizar los cambios de dirección, evitar entradas del flujo que sean opuestas entre sí.
3. Limitar la deflexión entre las tuberías de entrada y salida, la cual nunca debe ser mayor a 90°.
4. Dirigir los flujos hacia la tubería de salida y no hacia el centro de la cámara.
5. Realizar acabados hidrodinámicos a la salida de las estructuras (ver Figura D.7.1).

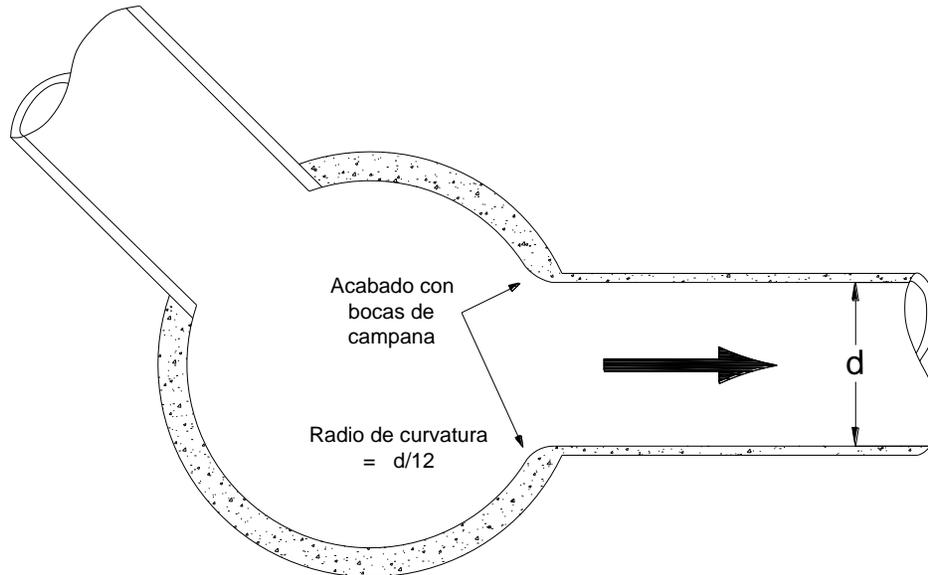


Figura D.7.1 Remate de la entrada a las tuberías de salida

Las personas prestadoras del servicio de alcantarillado podrán hacer uso de cámaras de conexión y/o inspección prefabricadas de distintos materiales siempre y cuando se compruebe el eficiente comportamiento hidráulico de las mismas para los caudales de diseño.

D.7.3.3.1 Criterio de selección de la tubería hidráulicamente dominante

En aquellas cámaras de conexión y/o inspección en las cuales convergen más de una tubería entrante, es necesario determinar cuál de ellas es la hidráulicamente dominante para hacer los cálculos de pérdidas menores en la cámara. Se debe escoger el conducto dominante como aquel conducto con mayor valor resultante de multiplicar el caudal (Q) por la velocidad (v).

D.7.3.3.2 Análisis hidráulico de cámaras bajo régimen subcrítico

Cuando las tuberías de entrada y de salida conectadas a la estructura de conexión y/o inspección operen bajo régimen de flujo subcrítico, puede aplicarse un análisis de la línea de energía como se muestra en la Figura D.7.2. En este punto se supone que las pérdidas dentro de la estructura se compensan con un desnivel en el fondo de la cámara. Tal análisis se realiza a través de las siguientes ecuaciones:

$$\Delta z = E_2 - E_1 + h_m \quad (D.7.1)$$

$$E_1 = y_1 + \frac{v_1^2}{2g}; E_2 = y_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

donde:

- Δz = Caída de fondo en la estructura de conexión y/o inspección (m).
- E_1 = Energía específica en la tubería de entrada (m).
- E_2 = Energía específica en la tubería de salida (m).
- h_m = Pérdida de energía en la cámara de conexión y/o inspección (m).
- v_1 = Velocidad de flujo en la tubería de entrada (m/s).

- v_2 = Velocidad de flujo en la tubería de salida (m/s).
 y_1 = Profundidad de flujo en de la tubería de entrada (m).
 y_2 = Profundidad de flujo en de la tubería de salida (m).
 g = Aceleración de la gravedad (m/s²).

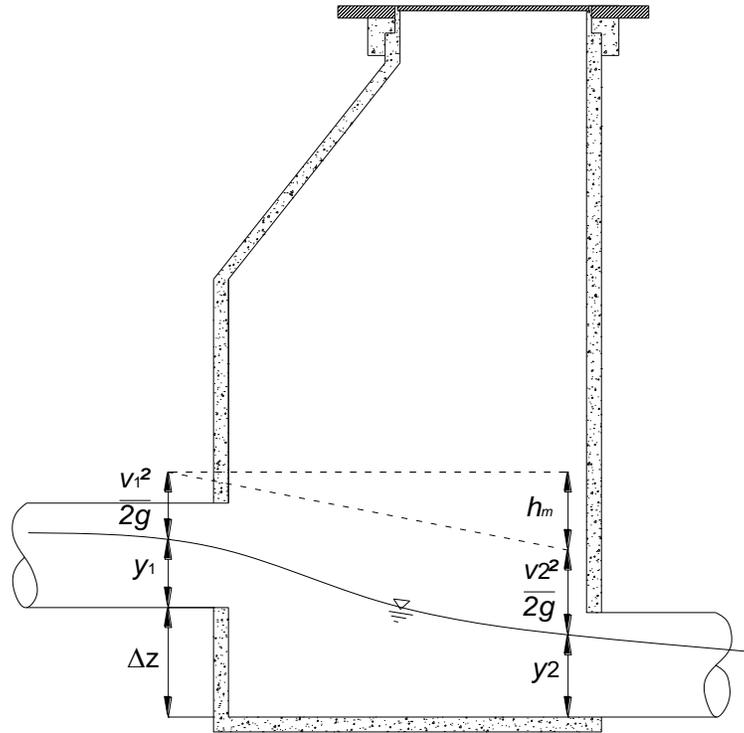


Figura D.7.2 Análisis de línea de energía en una cámara subcrítica

En aquellos casos en los que el valor de Δz sea positivo, la estructura de conexión y/o inspección debe tener una caída de fondo de altura Δz , entre la cota batea de la tubería hidráulicamente dominante y la cota de batea de la tubería de salida. En aquellos casos en los que Δz resulte negativo o cero, la estructura no debe tener caída de fondo. En ambos casos se debe verificar que las cotas de energía de las tuberías entrantes a la estructura sean mayores que la cota de energía de la tubería de salida. Las pérdidas de energía en la cámara deben determinarse a través del método estándar para predimensionamiento del sistema y por medio del método HEC-22 (literal D.7.3.3.2.2) para la determinación de la línea de gradiente hidráulico final para la presentación del diseño definitivo.

D.7.3.3.2.1 Método estándar

Este método incluye de manera directa las características geométricas de la cámara y las condiciones hidráulicas de la misma en el cálculo de las pérdidas menores de energía. El cálculo se lleva a cabo multiplicando la altura de velocidad en la tubería de salida de la cámara por un factor de pérdidas menores que depende de la conformación geométrica de la misma, como se muestra a continuación:

$$h_m = k_m \frac{v_2^2}{2g} \quad (\text{D.7.2})$$

donde:

- h_m = Pérdida de energía en la cámara de inspección y/o conexión (m).
 k_m = Coeficiente de pérdidas menores (ver Tabla D.7.2).

v_2 = Velocidad de flujo en la tubería de salida (m/s).
 g = Aceleración de la gravedad (m/s^2).

Tabla D.7.2 Coeficientes de pérdidas menores en cámaras de conexión y/o inspección

Descripción de la cámara ¹²	K_m
Una tubería de entrada con un $\Delta = 0^\circ$	0,5
Una tubería de entrada con un $\Delta = 90^\circ$	0,8
Dos tuberías de entrada, ángulo entre ellas mayor a 90°	0,9
Múltiples tuberías de entrada (3 o más)	1,0

Grados sexagesimales

D.7.3.3.2 Método HEC-22

El procedimiento de cálculo de pérdidas para la condición de flujo subcrítico que se debe utilizar para determinar la línea de gradiente hidráulico del diseño definitivo es el método HEC-22. Este método consiste en multiplicar la altura de velocidad en la tubería de salida por un coeficiente de pérdidas menores. Está basado en investigaciones de laboratorio y no aplica cuando el fondo de la tubería de entrada está sobre el nivel de agua en la cámara. Este modelo está compuesto por las siguientes ecuaciones:

$$h_m = k_t \frac{v_2^2}{2g} \quad (D.7.3)$$

$$k_t = k_o \times C_b \times C_Q \times C_d \times C_D \times C_p$$

donde:

h_m = Pérdida de energía en la cámara de inspección y/o conexión (m).
 k_t = Coeficiente de pérdidas ajustado (adimensional).
 v_2 = Velocidad de flujo en la tubería de salida (m/s).
 g = Aceleración de la gravedad (m/s^2).
 k_o = Coeficiente de pérdidas inicial (adimensional).
 C_b = Factor de corrección por uso de cañuela (adimensional).
 C_Q = Factor de corrección por flujo relativo (adimensional).
 C_d = Factor de corrección por profundidad de flujo (adimensional).
 C_D = Factor de corrección por diámetros (adimensional).
 C_p = Factor de corrección por inmersión (adimensional).

Los valores y ecuaciones para el cálculo de cada coeficiente de la ecuación (D.7.3) se presentan a continuación:

1. Coeficiente de pérdidas inicial

El valor del coeficiente de pérdidas inicial depende del tamaño relativo de la cámara de conexión o inspección y el diámetro de la tubería de salida.

$$k_o = \left[0.1 \times \left(\frac{b}{d_s} \right) (1 - \text{sen } \Delta) \right] + \left[1.4 \times \left(\frac{b}{d_s} \right)^{0.15} \times \text{sen } \Delta \right] \quad (D.7.4)$$

donde:

k_o = Coeficiente de pérdidas inicial.
 b = Diámetro real interno de la cámara de conexión y/o inspección (m).

¹² Donde, Δ = Ángulo de deflexión entre el tramo de entrada y el tramo de salida de la cámara (grados).

- d_s = Diámetro real interno de la tubería de salida (m).
 Δ = Ángulo de intersección entre la tubería de salida y la tubería de entrada hidráulicamente dominante (grados sexagesimales).

2. Factor de corrección por uso de cañuela

El valor de C_b depende del comportamiento hidráulico de la cámara y de la forma de la cañuela; los valores están definidos en la Tabla D.7.3. Las cañuelas tienden a dirigir el flujo en la cámara reduciendo la pérdida de energía. Si no existe cañuela este factor de corrección no aplica.

Tabla D.7.3 Valores de C_b para diferentes tipos de cañuela

Tipo de Cañuela	Flujo sumergido ($y/d_s > 3,2$)	Flujo libre ($y/d_s < 1,0$)
Banca plana o deprimida	1,00	1,00
Media banca	0,95	0,15
Banca llena	0,75	0,07
Para profundidades intermedias entre flujo sumergido y libre se interpola linealmente		

- y = Profundidad del agua en la cámara (m).
 d_s = Diámetro real interno de la tubería de salida (m).

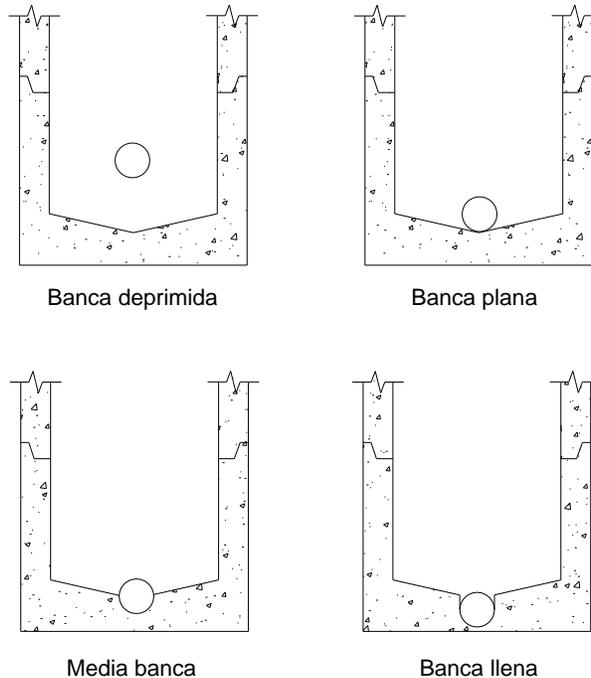


Figura D.7.3 Tipo de recubrimiento ejercido por una cañuela en una cámara de unión o inspección

3. Factor por corrección por flujo relativo

Es función del ángulo de entrada del flujo de la tubería hidráulicamente dominante y el porcentaje de flujo que llega de otras tuberías. Este factor se aplica sólo si hay tres o más conductos en la cámara (incluida la tubería de salida), de lo contrario el factor es 1. De acuerdo con este análisis todas las tuberías diferentes a la hidráulicamente dominante generan un efecto de flujo relativo en dicha corriente principal. Este factor se puede calcular empleando la ecuación (D.7.5).

$$C_Q = (1 - 2 \operatorname{sen} \Delta) \left[1 - \frac{Q_1}{Q_0} \right]^{0,75} + 1 \quad (\text{D.7.5})$$

donde:

- C_Q = Factor de corrección por flujo relativo (adimensional).
- Δ = Ángulo de intersección entre la tubería de salida y la tubería de entrada hidráulicamente dominante (grados).
- Q_1 = Caudal total de flujos laterales (flujos diferentes a la corriente principal) (m³/s).
- Q_0 = Caudal de flujo en la tubería de salida (m³/s).

4. Factor de corrección por profundidad de flujo

Por su parte el factor de corrección por profundidad de flujo se aplica solamente cuando la relación entre la profundidad del agua a la salida de la cámara y el diámetro de la tubería de salida es menor que 3,2, de lo contrario su valor es 1. Este factor se calcula con la ecuación (D.7.6).

$$C_d = 0.5 \left[\frac{y}{d_s} \right]^{0.6} \quad (\text{D.7.6})$$

donde:

- C_d = Factor de corrección por profundidad de flujo (adimensional).
- y = Profundidad del agua en la cámara (m).
- d_s = Diámetro real interno de la tubería de salida (m).

5. Factor de corrección por diámetros

Los cambios en la pérdida de altura debido a los diámetros de las tuberías, solamente son significativos para flujo a presión. Cuando la relación entre la profundidad del agua en la salida de la cámara y el diámetro de la tubería de salida es mayor a 3,2, se debe hacer esta corrección, de lo contrario el valor de C_D es igual que 1. El valor de C_D se debe estimar con la ecuación (D.7.7).

$$C_D = \left[\frac{d_s}{d_e} \right]^3 \quad (\text{D.7.7})$$

donde:

- C_D = Factor de corrección por diámetros.
- d_e = Diámetro real interno de la tubería de entrada (m).
- d_s = Diámetro real interno de la tubería de salida (m).

6. Factor de corrección por inmersión

Sólo se aplica en aquellos casos en los que algún tramo descargue por encima de la lámina de agua existente en la cámara. En cualquier otro caso el valor de C_p es 1. Este factor puede calcularse empleando la ecuación (D.7.8). Este coeficiente tiene en cuenta el efecto de inmersión de otras corrientes de flujo diferentes a la objeto del cálculo que descarguen por encima del nivel del agua en la estructura. Las descargas superficiales de rejillas en las vías son un ejemplo típico de este fenómeno.

$$C_p = 1 + 0.2 \left[\frac{h}{d_s} \right] \left[\frac{h - y}{d_s} \right] \quad (\text{D.7.8})$$

donde:

- C_p = Factor de corrección por inmersión.
- h = Distancia vertical medida entre la línea de flujo de la tubería que descarga por encima y el centro de la sección de la tubería de salida (m).
- d_s = Diámetro real interno de la tubería de salida (m).
- y = Profundidad del agua en la cámara (m).

D.7.3.3.3 Análisis hidráulico de cámaras bajo régimen supercrítico

El flujo supercrítico en las estructuras de conexión y/o inspección en sistemas de alcantarillado de aguas residuales y/o aguas lluvias es susceptible a la generación de ondas de choque, la presurización del sistema, el corte de la entrada de aire y el cambio de régimen de flujo. El análisis hidráulico se concentra en mantener el régimen de flujo supercrítico a través de la estructura.

El análisis hidráulico de la unión de tuberías de diámetros menores o iguales que 900 mm y que operan bajo régimen de flujo supercrítico puede llevarse a cabo mediante dos tipos de estructuras: unión de los tramos sin caída y unión de los tramos con caída. Para la unión de tuberías con diámetro superior a 900 mm que operen bajo régimen supercrítico o que conduzcan caudales superiores a 5 m³/s, la estructura de conexión utilizada debe ser concertada entre el diseñador y la persona prestadora del servicio público de alcantarillado, con base en un análisis técnico y económico. La estructura acordada debe permitir una transición gradual del cambio de dirección del flujo así como también de la sección transversal de las tuberías conectadas.

Cuando las restricciones de trazado de las líneas de alcantarillado no permiten alinear las tuberías de llegada a las estructuras de conexión de tal manera que coincidan con el fondo de las mismas, se presentarán caídas que requieren un análisis hidráulico de acuerdo con los literales D.7.3.3.3.2, D.7.3.3.3.3 y D.7.3.3.3.4. En caso de que la conexión bajo régimen supercrítico se realice al mismo nivel entre las tuberías conectadas se debe tener en cuenta el literal D.7.3.3.3.1.

D.7.3.3.3.1 Unión de tuberías sin caída en la cámara de conexión

En el caso en que la unión de tuberías bajo régimen de flujo supercrítico no requiera caída, es decir que la conexión entre los conductos de entrada y de salida de la cámara se realicen al mismo nivel, se deben seguir las siguientes recomendaciones:

1. Verificar que la altura de energía bajo flujo uniforme en el conducto de salida sea menor que la de todos los conductos de entrada a la estructura.
2. Verificar el nivel de agua en la estructura, como se establece en el literal D.7.3.4 de este título.
3. Se recomienda que la estructura de unión tenga cañuelas por lo menos a banca llena y que el trazado de la curvatura dirija el flujo hacia la salida de la estructura uniendo las cotas de batea de las tuberías de entrada y el de salida por medio de una pendiente constante.

D.7.3.3.3.2 Unión de tuberías con caída en la cámara de conexión

En aquellos casos en que no sea posible llegar con todas las entradas de flujo al mismo nivel en la cámara de conexión se permite utilizar cámaras de unión con caída operando bajo régimen supercrítico siempre que dicho desnivel no sea superior a 0,75 m. Se recomienda evitar conexiones con caída bajo régimen supercrítico cuando existan varios conductos de entrada. En cualquier caso se deben seguir las siguientes recomendaciones:

1. Verificar que la altura de energía bajo flujo uniforme en la tubería de salida sea menor que la máxima altura de energía de las tuberías de entrada a la estructura.
2. Verificar el nivel del agua en la estructura siguiendo todo lo establecido en el literal D.7.3.4 de este título.
3. El comportamiento hidráulico de esta estructura será más estable si se dirige el flujo a banca llena a través de una pendiente constante o se utiliza una conexión alargada en curva (ver literal D.7.3.5).
4. Se permite el uso de una estructura de conexión especial para el proyecto la cual debe ser aprobada previamente por la persona prestadora del servicio público de alcantarillado.

D.7.3.3.3.3 Unión de tuberías con pequeña caída en la cámara de conexión (caso especial)

Las siguientes ecuaciones sólo deben ser utilizadas en aquellos casos en los que la relación $(y/d)_{ent}$ sea menor al 75% y la caída no sea mayor a 0,75 m. Inicialmente se debe determinar el factor de capacidad de la cámara (F_C). De acuerdo con esta metodología el valor de F_C se calcula mediante la ecuación (D.7.9):

$$\begin{aligned} F_c &= 2 && \text{para } (y/d)_{ent} < 0,7 \\ F_c &= 14,6 - 17,3(y/d)_{ent} && \text{para } 0,7 < (y/d)_{ent} < 0,75 \end{aligned} \quad (D.7.9)$$

donde:

F_c = Factor de capacidad de la cámara de conexión y/o inspección (adimensional).

$(y/d)_{ent}$ = Relación entre la profundidad de flujo y el diámetro real interno de la tubería de entrada (adimensional).

El valor de la máxima caída que se puede manejar en la cámara de conexión e inspección se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\Delta z = \frac{1}{17} \left[15 + \frac{F_c - 1}{(y/d)_{ent} - 0,85} \right] d_s \quad (D.7.10)$$

donde:

Δz = Caída de fondo en la estructura de conexión y/o inspección (m).

F_c = Factor de capacidad de la cámara de conexión y/o inspección (adimensional).

$(y/d)_{ent}$ = Relación entre la profundidad de flujo y el diámetro real interno de la tubería de entrada (adimensional).

d_s = Diámetro real interno del tramo de salida de la cámara (m).

El valor máximo de F_c que se debe reemplazar en la ecuación (D.7.10) es 2 (aunque la ecuación (D.7.9) entregue un resultado mayor). Igualmente el máximo valor obtenido de Δz en la ecuación (D.7.10) no debe superar el 60% del diámetro de salida.

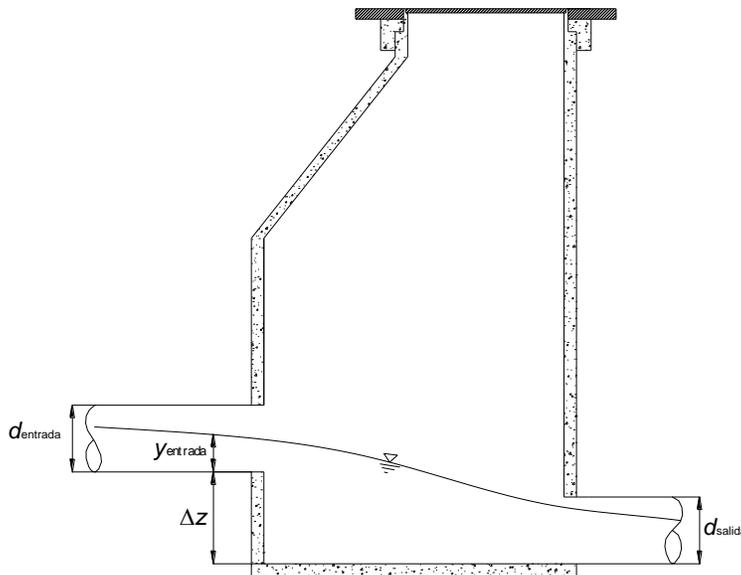


Figura D.7.4 Esquema de pequeña caída de fondo en cámaras supercríticas de flujo directo

D.7.3.3.3.4 Unión de tuberías con caída para diámetros menores que 300 mm

Para tuberías de diámetros menores o iguales que 300 mm y para evitar la socavación del fondo por impacto puede proyectarse un colchón de agua que amortigüe el impacto del chorro. El uso de estas estructuras debe estar acompañado de un programa de limpieza del material de fondo. De todas formas debe verificarse el nivel de agua en la estructura de acuerdo con lo señalado en el literal D.7.3.4 de este título.

D.7.3.4 Verificación del nivel de la superficie de agua en la estructura de conexión

El nivel de la superficie de agua en las cámaras de conexión que operan bajo régimen supercrítico es proporcional a la pérdida de energía que experimenta el flujo a través de la estructura. En ningún caso, la línea de gradiente hidráulico calculada en la estructura (nivel de la superficie de agua en la cámara de conexión) debe permitir que se sumerjan las tuberías de entrada. El proceso que debe seguirse es el siguiente:

1. Determinar la línea de gradiente hidráulico a la entrada de la tubería de salida con respecto al fondo de la cámara con dicha tubería fluyendo parcialmente llena (corresponde al nivel de la cota de fondo de la tubería más el valor de la profundidad de flujo a la salida). La velocidad y la profundidad de flujo a la salida corresponden a condiciones de flujo uniforme si la tubería de salida está bajo régimen subcrítico. La velocidad y la profundidad de flujo de salida corresponden a las condiciones críticas si la tubería de salida se encuentra bajo régimen supercrítico.
2. Adicionar a la línea de gradiente hidráulico una altura h_m correspondiente a la pérdida de energía en la estructura, ésta se calcula de acuerdo con la ecuación (D.7.11):

$$h_m = K_u \times \frac{v_2^2}{2g} \quad (\text{D.7.11})$$

donde:

- h_m = pérdida de energía en la estructura de conexión y/o inspección (m).
- K_u = Coeficiente de pérdidas en la estructura (adimensional).
- v_2 = Velocidad de flujo en la tubería de salida (m/s).
- g = Aceleración de la gravedad (m/s^2)

3. Teniendo en cuenta el tipo de configuración de la cámara de conexión, se deben utilizar los siguientes valores de K_u , mostrados en la Tabla D.7.4.

Tabla D.7.4 Valores de K_u para diferentes configuraciones de entrada

Configuración de la entrada	K_u
Sin cambio de dirección	0,50
Con cambio de dirección de 0° a 45°	0,75
Con cambio de dirección de 46° a 90°	1,00
Estructura con múltiples tuberías de entrada	1,00

4. Si la línea de gradiente hidráulico se encuentra por debajo de la cota clave de la tubería de salida se adopta este nivel como la línea de gradiente hidráulico en la estructura.
5. Si la línea de gradiente hidráulico calculada está por encima de la cota clave de la tubería de salida se supone que ésta trabaja totalmente sumergida en este punto, por lo tanto se debe corregir la línea de gradiente hidráulico adicionando un nivel de agua H_w (ver Figura D.7.5) por encima de la cota clave de la tubería de salida de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$H_w = 1.5 \times K_w \times \left(\frac{v^2}{2g} \right) \quad (\text{D.7.12})$$

donde:

- H_w = Profundidad esperada de agua en la cámara de conexión y/o inspección (m).
- K_w = Coeficiente de pérdidas en la estructura (ver Tabla D.7.5) (adimensional).
- v = Velocidad de flujo en la tubería de salida fluyendo totalmente llena (m/s).
- g = Aceleración de la gravedad (m/s^2).

Tabla D.7.5 Valores de K_w para diferentes configuraciones de entrada

Situación de la tubería de entrada hidráulicamente dominante		Kw
Cámaras sin caída	Cámara de unión sin cambio de dirección	0,2
	Cámara de unión a paso directo con tuberías laterales (el caudal en la tubería dominante es mayor que el 80% del caudal de la tubería de salida)	0,5
	Cámara de unión a paso directo con tuberías laterales (el caudal en la tubería dominante está entre el 40% y 80% del caudal de la tubería de salida)	1,5
	Cámara de unión a paso directo con tuberías laterales (el caudal en la tubería dominante es menor que el 40% del caudal de la tubería de salida)	2,0
	Cámara de unión de cambio de dirección a 90°	1,3
	Cámara de unión con sólo entradas laterales a 90°	1,6
	Cámara de unión con sólo entradas laterales a diferente nivel	2,0
Cámara de sección rectangular con caída	Con cambios de dirección menor o igual que 45°	2,0
	Con cambios de dirección mayores a 45°	2,5
Cámara de sección circular con caída	Con cambios de dirección menores o iguales a 45°	1,5
	Con cambios de dirección mayores a 45°	2,0

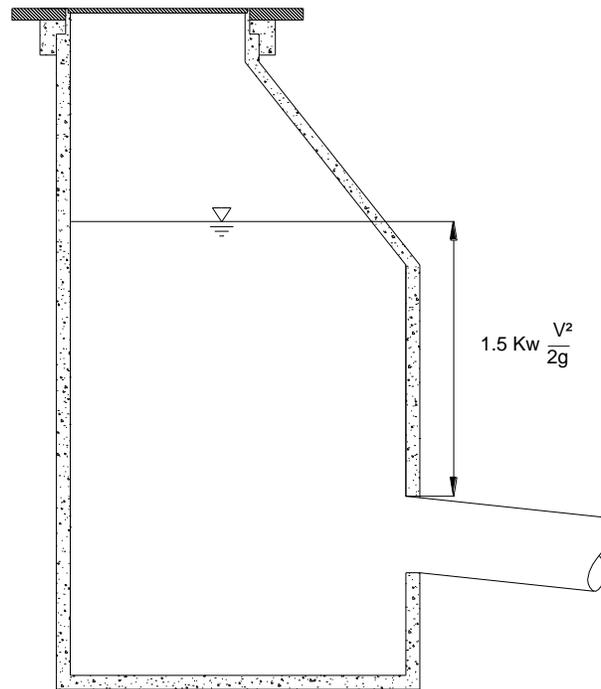


Figura D.7.5 Profundidad del agua en la estructura de conexión con respecto a la tubería de salida

D.7.3.5 Estructuras de conexión curva o alargada

Estas estructuras se utilizan cuando no hay suficiente espacio para cumplir con las dimensiones de una estructura de unión convencional. La operación hidráulica de dicha estructura debe verificarse de tal manera que no existan cambios en el régimen de flujo teniendo en cuenta las pérdidas por cambio de dirección en la curvatura de la estructura. En aquellos casos en que el diseño determine que se debe hacer uso de una cámara de conexión curva o alargada (ver Figura D.7.6), el cálculo de la longitud de la misma debe hacerse aplicando la ecuación (D.7.13) mostrada a continuación:

$$L_c = r_{\text{curvatura}} \times \frac{2\pi}{360} \Delta \quad (\text{D.7.13})$$

Donde:

L_c = Longitud de la estructura especial (m).

Δ = Ángulo de deflexión entre el tramo de entrada y el tramo de salida de la estructura (grados).

$r_{curvatura}$ = Radio de curvatura de la conexión que cubre la deflexión Δ (m).

En cualquier caso, la longitud de la estructura curva no puede ser inferior a dos veces el diámetro de la tubería de salida.

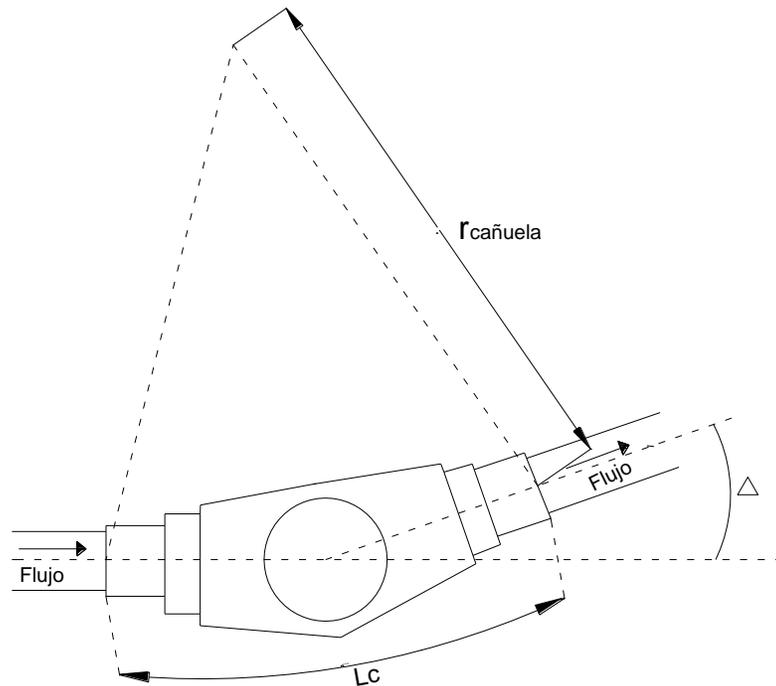


Figura D.7.6 Esquema de estructura de conexión curvas

Se debe verificar el espacio disponible en campo, para que al instalar la estructura, su funcionamiento sea eficiente. Cuando se prevea hacer cambios de dirección con las mismas tuberías, éstas deberán proveerse de una cámara por cada 40 m de longitud de curva. La pérdida de energía en las estructuras de conexión curvas se calcula mediante la ecuación (D.7.14):

$$h_m = k_c \frac{v^2}{2g} \quad \text{(D.7.14)}$$

donde,

h_m = Pérdida de energía en la estructura de conexión curva (m).

k_c = Coeficiente de pérdida por curvatura (adimensional).

v = Velocidad de flujo en la tubería de salida (m/s).

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

El coeficiente de pérdida por curvatura depende del régimen de flujo y de la relación existente entre el radio de curvatura del tramo y su diámetro, tal como se muestra en la Tabla D.7.6:

Tabla D.7.6 Valores del coeficiente k_c

Régimen de flujo	Radio curvatura / Diámetro interno de las tuberías conectadas	k_c
Subcrítico	1,0 – 1,5	0,40
	1,5 – 3,0	0,20
	> 3,0	0,05
Supercrítico	6,0 – 8,0	0,40
	8,0 – 10,0	0,20
	> 10,0	0,05

D.7.3.6 Limpieza de estructuras de conexión y/o inspección

El mantenimiento asociado con estructuras de conexión y/o inspección implica principalmente la remoción de lodos y bloques retenidos en dichas estructuras. Para ejecutar dichas labores de limpieza se permite utilizar las mismas herramientas y equipos que se emplean para el mantenimiento general del sistema, sin embargo, si la empresa prestadora del servicio tiene a disposición equipos especialmente diseñados para la limpieza de estructuras de conexión y/o inspección, puede utilizarlos.

D.7.4 CÁMARAS DE DESCARGA PARA TUBERÍAS DE IMPULSIÓN

En aquellos casos especiales en que se tengan tuberías de impulsión en un sistema de bombeo y/o elevación, se requiere el uso de cámaras para la descarga de dichas tuberías. Este tipo de estructuras se utilizan cuando se proyecta la transición entre el flujo a presión en la tubería de impulsión y el flujo a superficie libre aguas abajo.

Este tipo de cámaras debe dimensionarse con el fin de permitir todas las labores de mantenimiento y reparación; para esto se debe dejar una distancia por lo menos de 200 mm entre la tubería de salida y el fondo de la cámara. Los requisitos estructurales de este tipo de cámaras deben seguir todo lo establecido en el Título G del RAS: “Aspectos complementarios”.

En el diseño se debe tener un cuidado especial para proteger este tipo de estructuras contra la corrosión. En la Figura D.7.7 se muestra un esquema de las cámaras de descarga para tuberías de impulsión en sistemas de alcantarillado. Este tipo de cámaras deben estar protegidas con algún tipo de recubrimiento para evitar el excesivo desgaste generado por la turbulencia del flujo y por la corrosión debida a la presencia de gases.

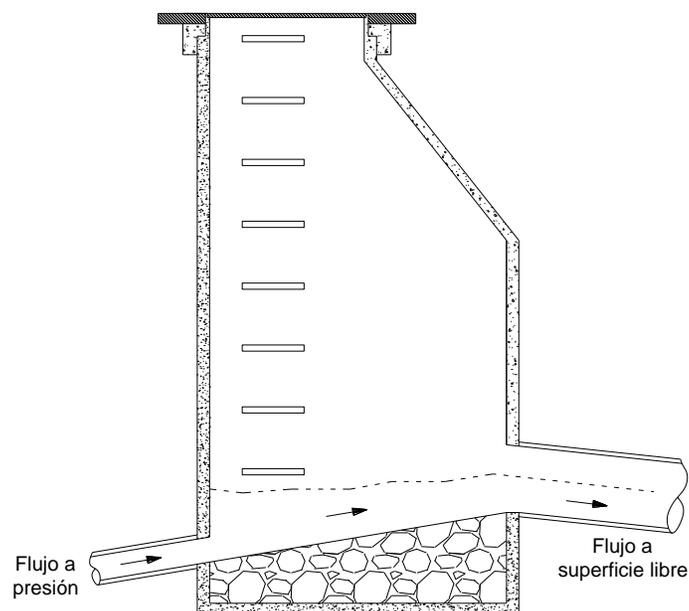


Figura D.7.7 Esquema de cámara de descarga para tuberías de impulsión

D.7.5 CÁMARAS DE CAÍDA

Cuando no es posible que todos los tramos de las tuberías de alcantarillado lleguen a un mismo nivel a la cámara de conexión e inspección y a su vez cuando dicho desnivel sea mayor a 0,75 m se debe proyectar una cámara de caída. Teniendo en cuenta un análisis económico de los procesos constructivos las diferencias de nivel entre tuberías de cámaras de conexión y/o inspección que sean menores que 0,75 m deben ser rellenadas para evitar retención de sólidos.

Las cámaras de caída son estructuras de conexión usualmente construidas en zonas con alta pendiente longitudinal, en las cuales no es posible cumplir con las velocidades máximas permitidas de aproximación a la estructura (ver literales D.3.3.9.2 y D.4.3.6.2 de este título). En este caso la función principal de estas estructuras es dirigir el flujo, disipar una importante cantidad de energía en el flujo y proteger la estructura contra impactos en las paredes para mantener su estabilidad estructural.

D.7.5.1 Consideraciones para su proyección

Cuando se requiere superar una diferencia de altura mayor a 0,75 m entre las cotas de batea de las tuberías de entrada y la tubería de salida por lo general se utilizan cámaras de caída con sifones como se muestra en la Figura D.7.9 y en la Figura D.7.10. En aquellos casos en que las velocidades en los tramos de entrada a la estructura se encuentren cercanos o superen los límites de resistencia de los materiales utilizados para la construcción de la cámara, en el diseño se deben tener en cuenta pantallas de disipación de energía. Tal tipo de pantallas debe diseñarse con especial cuidado con el fin de permitir labores de inspección y de mantenimiento, y debe seguir todos los requisitos estructurales establecidos en el Título G del RAS: “Aspectos Complementarios”. Durante la operación debe tenerse en cuenta la posible generación de olores debido a la turbulencia producto del choque del flujo con la pantalla. En la Figura D.7.8 se muestra el esquema de una cámara de caída con pantalla deflectora. La longitud de la cámara en el sentido de la caída debe ser por lo menos de 2 m.

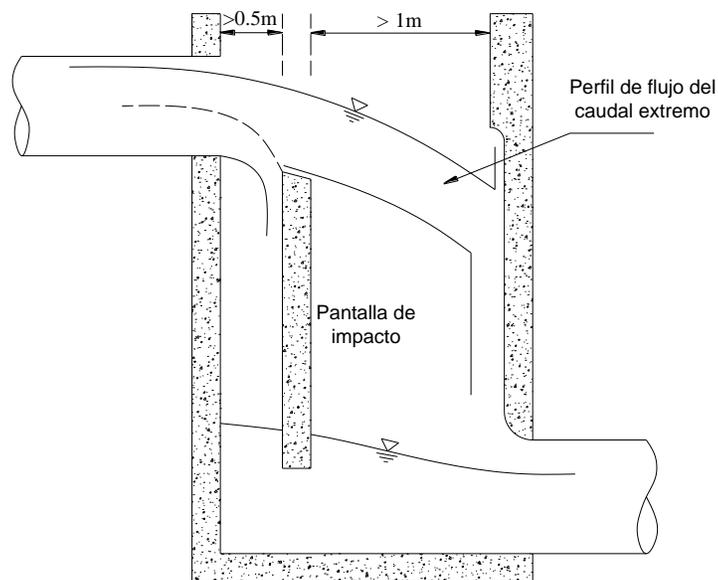


Figura D.7.8 Esquema de cámara de caída con pantalla deflectora

D.7.5.2 Parámetros de diseño y métodos de cálculo

Se recomienda que las cámaras de caída no se utilicen en aquellos casos en que se tengan desniveles mayores a 7 m; en estos casos se debe hacer uso de estructuras especiales. Las cámaras de caída con sifones pueden ser del tipo cámara de caída con tubería externa o cámara de caída con tubería interna. Las cámaras de caída externas deben utilizarse únicamente en aquellos casos en que no se cuente con los materiales apropiados para hacer una cámara de caída con tubería interna. La cámara de caída con tubería externa debe construirse con tuberías y accesorios de las mismas características de materiales y de calidad que el resto del sistema de alcantarillado, de acuerdo con lo establecido en el literal D.2.7.11 de este título. El diseñador debe justificar el uso de este tipo de cámaras.

En aquellos casos en que el diseñador proyecte el uso de cámaras de caída con tubería externa, la tubería bajante debe ser del mismo diámetro del ducto de entrada de mayor diámetro y nunca menor que 200 mm. En la Figura D.7.9 se muestra el esquema típico de una cámara de caída con tubería externa. Por otra parte, y teniendo en cuenta el desarrollo de materiales modernos, las cámaras de caída interna se deben preferir a las cámaras de caída con tubería externa. Tal como se muestra en la figura, la tubería bajante en la cámara de caída con tubería interna debe conectarse con la superficie a través de un tapón de inspección.

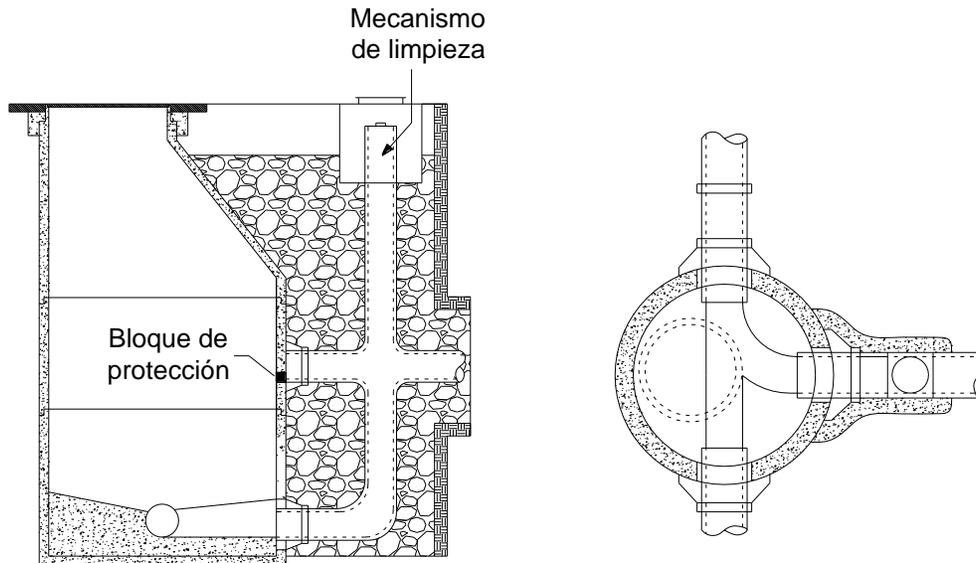


Figura D.7.9 Cámara de caída con tubería externa

Tal como se muestra en la Figura D.7.10, la tubería bajante en la cámara de caída con tubería interna debe conectarse con la superficie a través de un tapón de limpieza.

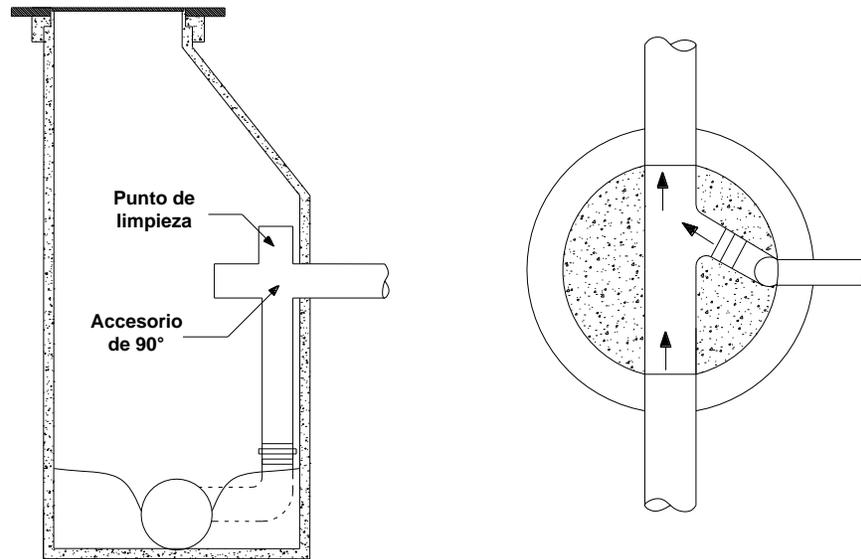


Figura D.7.10 Cámara de caída con tubería interna

En el caso de cámaras de caída con tubería interna, el diámetro de la tubería bajante debe ser igual al diámetro del tramo de entrada. La tubería bajante debe entregar el agua en la cañuela del fondo de la cámara (ver Figura D.7.10). La boca inferior de la tubería interna debe estar orientada de tal forma que no se subtienda un ángulo mayor a 15 grados con respecto a la tubería de salida.

En aquellos casos en que se tengan diferencias de niveles superiores a 7 m, se deben incluir estructuras especiales tales como estructuras escalonadas, estructuras de vórtice, estructuras con bandeja (ver Figura D.7.11), revisando a través de modelación física los siguientes aspectos de la operación del sistema:

1. No debe haber represamiento en el flujo de aproximación.
2. Debe existir poca perturbación aguas abajo de la estructura.
3. No se debe producir ningún tipo de sedimentación en el interior de la estructura.
4. Se debe mantener una abrasión mínima en todos los materiales de la cámara de caída.
5. Se debe asegurar que durante la operación de la estructura se produzcan bajos niveles de ruido.
6. No se debe permitir la liberación de gases.
7. Se debe permitir una circulación permanente y adecuada del aire en el interior de la cámara.
8. Se debe establecer un flujo continuo, tranquilo y homogéneo en la dirección hacia aguas abajo.
9. Se deben evitar sobrecargas temporales en la estructura.
10. El diseño debe permitir la fácil construcción de este tipo de cámaras.
11. Se deben facilitar todas las operaciones de mantenimiento y de reparación.
12. Se debe minimizar el riesgo de cavitación.

En la Figura D.7.11 se muestran algunas de las estructuras especiales que deben utilizarse para alturas mayores a 7 m. En todos los casos, la estructura especial a utilizar debe ser aprobada por la persona prestadora del servicio público de alcantarillado.

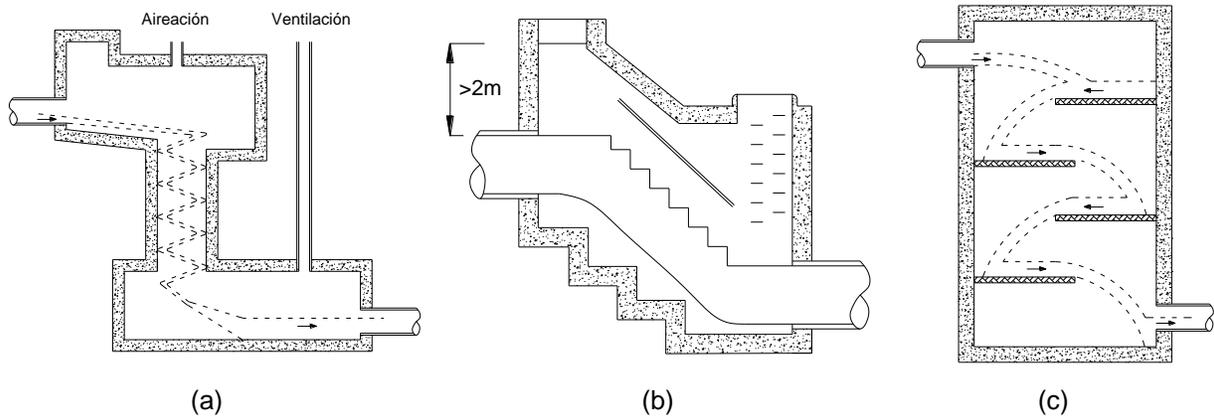


Figura D.7.11 Esquemas de estructuras de caída para alturas mayores a 7 m: (a) cámara de caída de vórtice, (b) cámara de caída de pasos escalonados y (c) cámara de caída con estructura de bandejas

D.7.6 SUMIDEROS

Son estructuras para la captación de la escorrentía superficial, que pueden ser diseñadas en forma lateral o transversal al sentido del flujo, y se localizan en las vías vehiculares o peatonales del proyecto. Los sumideros son las estructuras diseñadas para recolectar la escorrentía que drena a través de las calles. Estas estructuras deben ser convenientemente ubicadas y dimensionadas. Los sumideros tienen cajas o cámaras, las cuales están conectadas a la red de alcantarillado.

D.7.6.1 Consideraciones para su proyección

La capacidad de recolección de aguas lluvias del conjunto de sumideros de un sistema de aguas lluvias o combinado debe ser consistente con la capacidad de evacuación de la red de tuberías para garantizar que el caudal de diseño efectivamente llegue a la red de evacuación.

Los sumideros deben ubicarse en los cruces de las vías, de tal manera que intercepten las aguas antes de las zonas de tránsito de los peatones y en los puntos intermedios bajos. Los siguientes son algunos criterios para su ubicación:

1. Puntos bajos y depresiones de las calzadas.
2. Reducción de pendiente longitudinal de las calles.
3. Antes de puentes y terraplenes.
4. Preferiblemente antes de los cruces de calles y pasos peatonales.
5. Captación de sedimentos.

Adicionalmente, para la selección de un tipo particular de sumidero, el diseñador debe tener en cuenta los costos de construcción, costos de mantenimiento y costos de remplazo de los mecanismos de limpieza y el tipo de mantenimiento requerido de acuerdo con los mecanismos de limpieza disponibles o proyectados. Se deben analizar los planos topográficos y de pendientes longitudinales de las calles para ubicar preliminarmente un determinado número de sumideros, el cual podrá ser aumentado o reducido mediante el cálculo de caudales que justifiquen la decisión.

El procedimiento de diseño establecido en este literal, para calcular la captación de la escorrentía superficial en las vías, consiste en determinar el espaciamiento entre los sumideros a partir de una geometría única de los mismos y de su capacidad de captación asociada, del caudal de diseño y del ancho de inundación permisible en la vía (T) (ver Figura D.7.12).

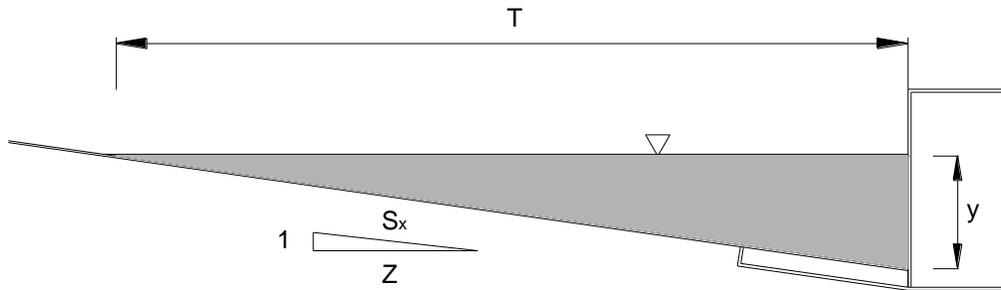


Figura D.7.12 Esquema de la sección mojada de flujo en una cuneta

Con respecto a los valores permisibles del ancho de la superficie del agua en las vías, se debe seguir lo establecido en la Tabla D.7.7 mostrada a continuación:

Tabla D.7.7 Valores admisibles de ancho de la superficie libre (T) en la sección transversal de diferentes tipos de vías

Clasificación de la vía	Ancho de la superficie admisible T (m)
Zona residencial	2,0
Zona institucional y comercial	1,5
Vías arteriales (avenidas de varias calzadas)	1,5

D.7.6.2 Capacidad de captación de los sumideros

La capacidad de captación de un sumidero es la cantidad de caudal que es interceptado por éste. Los caudales que no son interceptados se conocen como caudal desviado, el cual se relaciona con el caudal captado de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$Q_b = Q_n - Q_i \quad (\text{D.7.15})$$

donde:

- Q_b = Caudal desviado (m^3/s).
- Q_n = Caudal total sobre la cuneta (m^3/s).
- Q_i = Capacidad de intercepción del sumidero (m^3/s).

La capacidad de captación de un sumidero es función de la pendiente transversal de la cuneta, la rugosidad del pavimento, la pendiente longitudinal de la cuneta, el caudal total en la cuneta y la geometría del sumidero. Por otro lado, la eficiencia del sumidero es función de los mismos factores y a la vez de su capacidad de captación. Las características anteriores deben calcularse empíricamente, en caso de que no sean suministradas por el fabricante del sumidero.

La profundidad de flujo en la sección transversal de la cuneta es función de sus características geométricas y en particular del caudal sobre la misma, tal como se establece en la ecuación (D.7.16)¹³ mostrada a continuación:

$$y = (nQ)^{3/8} \left(\frac{2S_x}{S^2/10} \right)^{5/8} \left(1 + \sqrt{1 + \left(\frac{1}{S_x} \right)^2} \right)^{1/4} \quad (\text{D.7.16})$$

donde:

- y = Profundidad del agua en la orilla de la sección transversal de la cuneta (m).
- Q = Caudal de agua en la cuneta (m^3/s).
- n = Coeficiente de rugosidad de Manning ($\text{s}/\text{m}^{1/3}$).

¹³ Fuente: Marbello, R.; Cárdenas, M. 2011. Precisión y corrección a la ecuación de diseño de cunetas triangulares urbanas de aguas lluvias, establecida en normas de diseño colombianas. XIX Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología.

S_x = Pendiente transversal de la sección de flujo (m/m).
 S = Pendiente longitudinal de la sección de flujo (m/m).

A su vez, el ancho superficial del flujo en la cuneta (T) está relacionado con la profundidad de flujo en la siguiente forma en la ecuación (D.7.17):

$$T = \frac{y}{S_x} \quad (\text{D.7.17})$$

donde:

T = Ancho de la superficie libre en la sección (m).
 y = Profundidad del agua en la orilla de la sección transversal de la cuneta (m).
 S_x = Pendiente transversal de la sección de flujo (m/m).

D.7.6.3 Tipos de sumideros

Los sumideros se clasifican de acuerdo con la forma de la captación de las aguas de escorrentía o de acuerdo con la configuración de la cámara de conexión. La selección del tipo de sumidero empleado en un punto determinado del sistema de alcantarillado de aguas lluvias depende de las características del flujo, de las características topográficas del sitio y del grado de importancia económica del sector. Por consiguiente, el diseñador debe escoger el tipo de sumidero aplicable a las circunstancias teniendo en cuenta los criterios antes mencionados y la clasificación que se presenta a continuación.

D.7.6.3.1 Clasificación de acuerdo con la forma de captación

De acuerdo con la forma de captación los sumideros pueden clasificarse como:

1. Sumidero de ventana

Consiste en una abertura a manera de ventana colocada sobre la cara vertical del bordillo de la vía, que puede estar colocada sobre los bordillos de los andenes. Debido a la localización de este sumidero, también conocido como de captación lateral, es posible colocar la ventana con una ligera depresión, con el objetivo de aumentar la captación mediante la acumulación del agua en esta zona de depresión.

Su principal ventaja es que, por estar localizado de manera lateral, no interfiere ni se ve afectado por el tránsito de vehículos. Sin embargo, es susceptible a taponamiento por sólidos de gran tamaño y sedimentos. La posibilidad de taponamiento puede ser disminuida con la utilización de rejillas en la ventana. Adicionalmente, su capacidad de captación se ve afectada cuando están localizados en vías con pendientes longitudinales muy pronunciadas, por lo general mayores al 3%. Su longitud mínima es de 1,5 m y la depresión debe tener un ancho entre 0,3 y 0,6 m con una pendiente hasta del 8%.

2. Sumidero de rejillas en cunetas

Consiste en una abertura con rejilla colocada sobre el piso de la cuneta. Su capacidad de captación es óptima cuando las barras de las rejillas son dispuestas de manera paralela a las líneas de flujo. Sin embargo, cuando la separación entre éstas es mayor a 2,5 cm, se deben colocar de manera oblicua con el objetivo de evitar riesgos a los ciclistas.

En todos los casos, el sumidero debe quedar ubicado en la zona que está entre el bordillo de la vía y la acera, y entre 2 y 3 cm por debajo de la rasante de la vía.

Por estar ubicado sobre el piso de la cuneta, su capacidad de captación es mayor que la de los sumideros de ventana en vías con pendientes pronunciadas. Presenta como desventaja principal que puede perder área efectiva de captación por efecto de acumulación de sedimentos en los espacios entre las barras.

3. Sumideros mixtos

Son sumideros compuestos por una combinación de los dos anteriores, pretendiendo mejorar la eficiencia del sumidero de ventana y disminuir el área de ocupación de las vías del sumidero de rejilla. Es recomendable colocarlos en aquellos lugares en donde, por cuestiones de tráfico, es

preferible utilizar uno de ventana, pero cuya eficiencia, debido a la pendiente de la vía, sería menor al 70%.

4. Sumideros transversales

Los sumideros transversales también se conocen como sumideros de rejillas en calzadas. Estos consisten en una caja transversal a la vía y a todo lo ancho de ésta, cubierta con rejilla. Su mayor inconveniente es su vulnerabilidad al peso de vehículos y a la captación de desperdicios y basuras que reducen su área neta de captación de flujo. De igual manera, los sedimentos reducen su área efectiva.

En la Figura D.7.13 se muestra un esquema de cada uno de los tipos de sumideros mencionados:

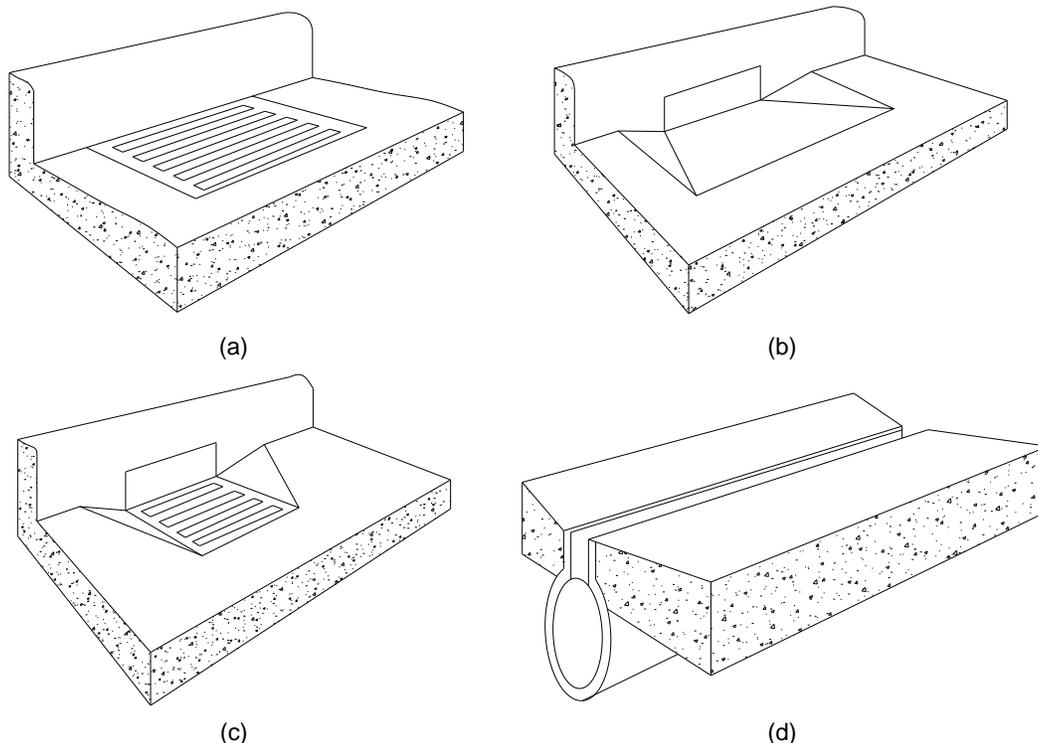


Figura D.7.13 Tipos de sumideros de acuerdo a la forma de captación: (a) sumidero de rejilla en cuneta, (b) sumidero de ventana, (c) sumidero combinado y (d) sumidero transversal

D.7.6.3.2 Clasificación de sumideros de acuerdo con su caja de conexión

Teniendo en cuenta el tipo de caja de conexión, los sumideros se clasifican como sumideros con válvula de cheque, sumideros con sello hidráulico y sumideros con desarenadores. Los sumideros con válvula de cheque y con sello hidráulico se utilizan en los sistemas de alcantarillados combinados y su propósito es evitar la salida de gases que causan malos olores y la proliferación de mosquitos. En la Figura D.7.14 se muestra un esquema del sumidero con válvula de cheque y en la Figura D.7.15 se muestra un esquema del sumidero con sello hidráulico.

Cuando desde la etapa de diseño se prevea el arrastre de arenas y/o gravas por falta de pavimentos o por áreas tributarias que no tengan una cobertura vegetal eficiente se debe proyectar un sumidero con desarenador al interior de la caja del mismo (ver Figura D.7.16). Es importante tener en cuenta que los sumideros con sello hidráulico o con desarenadores requieren de mayor mantenimiento, por lo cual su uso debe ser previamente aprobado por la persona prestadora del servicio público de alcantarillado.

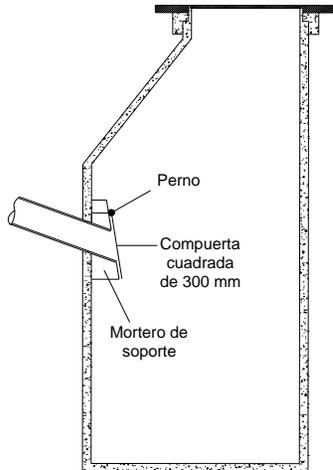


Figura D.7.14 Sumidero con válvula de cheque o "charnela"

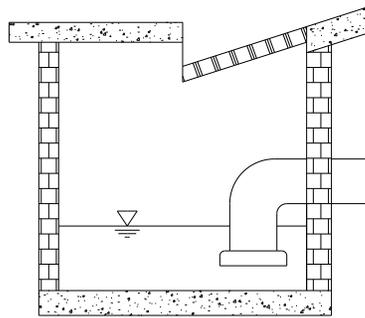


Figura D.7.15 Sumidero con sello hidráulico

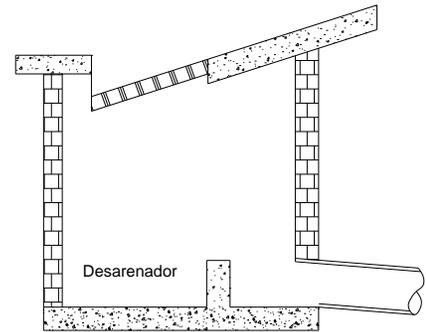


Figura D.7.16 Sumidero con desarenador

D.7.6.4 Parámetros de diseño

Para el diseño de los sumideros, se deben tener en cuenta dos aspectos: el dimensionamiento del área efectiva de captación y el dimensionamiento de los conductos que conectan estas estructuras con la red de alcantarillado. Para el primero, se deben conocer las características del flujo de escorrentía, la zona de aproximación a la estructura y el tipo de rejilla a utilizar. En cuanto al dimensionamiento de los conductos, el diseño se debe hacer igual al de cualquier tubería del sistema de alcantarillado, teniendo en cuenta que deben tener un diámetro mínimo de 250 mm, una pendiente mínima de 2% y su longitud no debe ser mayor a 15 m.

Los datos de entrada que deben utilizarse para llevar a cabo el diseño del área de captación de sumideros son los siguientes:

1. Características del pavimento: rugosidad, sección transversal y geometría longitudinal.
2. Datos de la lluvia de diseño: intensidad, duración y frecuencia de la tormenta de diseño.
3. Pendiente longitudinal: lugares donde existan cambios en la pendiente longitudinal.
4. Características del sumidero: tipo, tamaño y configuración.
5. Caudales adicionales: caudales discretos en aquellos lugares donde existan caudales adicionales puntuales.

El diseño óptimo se define como aquel para el cual la configuración de las estructuras de captación drena adecuadamente una sección del pavimento con un costo mínimo. Por consiguiente, los objetivos del diseño son

1. Minimización del costo del sumidero, el cual incluye el material, los costos de construcción y los costos de mantenimiento.
2. Sujeción a las leyes físicas que gobiernan la hidráulica del drenaje urbano y las restricciones que existen sobre el ancho máximo de la lámina de agua permisible sobre el pavimento.

D.7.6.5 Métodos de cálculo

Para el dimensionamiento de los sumideros, el diseñador debe conocer las características del flujo de escorrentía superficial y el comportamiento hidráulico de la zona de captación. El flujo de escorrentía puede estimarse mediante la implementación de la ecuación de Manning, o alguna variación de ésta, sobre el canal conformado por la cuneta o entre el bordillo de la vía y la carpeta de rodadura de la vía.

El comportamiento hidráulico de la sección de captación depende de las características y disposición de

las rejillas. Existen rejillas estándares cuyo comportamiento hidráulico se describe mediante ecuaciones empíricas, las cuales se presentan en los siguientes literales.

D.7.6.5.1 Cálculo del caudal en la cuneta

Las cunetas son los canales conformados por los bordillos y las calzadas de una vía, que recogen las aguas de la escorrentía superficial que se transportan a través de ésta. El caudal que conduce una cuneta puede calcularse utilizando la ecuación (D.7.16) la cual es una variación de la ecuación de Manning para el flujo uniforme. Reescribiendo dicha ecuación para la cuneta, se establece la ecuación (D.7.18) mostrada a continuación:

$$Q = 0.376 \times y^{\frac{8}{3}} \times \left(\frac{1}{nS_x} \right) \times \sqrt{S} \quad (\text{D.7.18})$$

donde:

- Q = Caudal en la cuneta (m³/s).
- y = Profundidad mayor del agua en la cuneta (m).
- S_x = Pendiente transversal de la sección de flujo (m/m).
- n = Coeficiente de rugosidad de Manning (s/m^{1/3}).
- S = Pendiente longitudinal de la sección de flujo (m/m).

En el diseño se deben considerar incrementos en el coeficiente de rugosidad n de Manning con el fin de tener en cuenta el efecto del flujo lateral en la calle, pues el flujo extendido y poco profundo y la profundidad transversal variable hacen que éste no sea simétrico y que la distribución de los esfuerzos cortantes sea irregular. Por consiguiente, el valor del coeficiente n de Manning en cunetas con pavimento bien terminado es 0,015.

La suposición de flujo uniforme, subyacente a la ecuación de Manning, en cunetas no es estrictamente correcta pues se tienen condiciones de flujo espacialmente variado en la medida en que los caudales se incrementan en la dirección de flujo en la cuneta. Para pendientes longitudinales del orden del 1%, el error al que se incurre al suponer flujo uniforme es de alrededor del 3%; sin embargo, este error se incrementa en la medida en que la pendiente disminuye, de tal manera que para pendientes muy suaves la capacidad de la cuneta es notoriamente menor que la calculada con la ecuación de Manning. En estos casos, el caudal en la cuneta debe calcularse utilizando un análisis de flujo espacialmente variado. Por otra parte, cuando el flujo en la cuneta se remansa alrededor del sumidero, la profundidad de flujo en ésta es controlada por las características de entrada al sumidero en lugar de las características hidráulicas en la cuneta.

En general, las cunetas se deben construir con una pendiente transversal del 2%. Cuando el caudal acumulado sobre éstas sea del orden de 100 L/s es conveniente colocar una estructura de captación en dicho punto.

D.7.6.5.2 Sumideros de ventana

1. Cálculo del caudal de captación para un sumidero de ventana sin depresión

El caudal que puede captarse utilizando un sumidero de ventana (ver Figura D.7.17) depende de su longitud, de la profundidad de flujo de aproximación y de una constante de captación. La ecuación (D.7.19) debe utilizarse para determinar la longitud necesaria del sumidero con el fin de captar un caudal determinado. Los coeficientes de captación de esta ecuación deben determinarse experimentalmente por la persona prestadora del servicio público de alcantarillado o deben ser suministrados por el fabricante del sumidero.

$$Q_1 = L \times k \times y_A \times \sqrt{g \times y_A} \quad (\text{D.7.19})$$

donde:

- Q_1 = Caudal captado por el sumidero (m³/s).
- L = Longitud de la rejilla (m).
- k = Coeficiente de captación (adimensional).
- y_A = Profundidad del flujo de aproximación al sumidero (m).

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

El valor del coeficiente de captación depende de la pendiente transversal de la vía (S_x). Los valores del coeficiente de captación se encuentran en la Tabla D.7.8:

Tabla D.7.8 Valores de k para diferentes pendientes transversales de vía

Pendiente transversal S_x (%)	Valor de coeficiente k
0,23	8
0,22	4
0,20	2

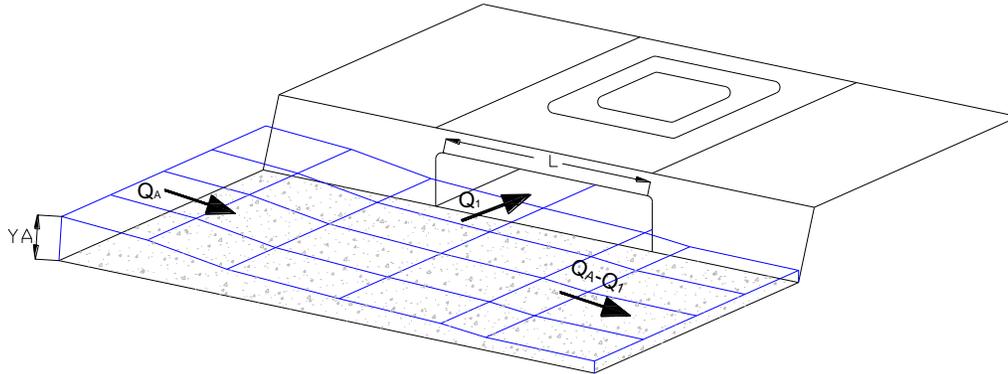


Figura D.7.17 Sumidero de ventana

Esta metodología de diseño de sumideros puede ser aplicada cuando se cumpla la siguiente inecuación:

$$\frac{v_A}{\sqrt{g y_A}} \leq 3 \quad (\text{D.7.20})$$

donde:

- v_A = Velocidad de aproximación al sumidero (m/s).
- y_A = Profundidad de flujo de aproximación al sumidero (m).
- g = Aceleración de la gravedad (m/s²).

2. Cálculo del caudal de captación para un sumidero de ventana con depresión

En el caso de los sumideros de ventana que utilicen depresiones, teniendo en cuenta la configuración geométrica de dicha depresión, el diseñador puede utilizar dos métodos diferentes de cálculo. Cuando la longitud de la transición aguas arriba, L_1 , es menor que 10 veces la profundidad de depresión α , y la longitud de transición de aguas abajo, L_2 , es igual que 4 veces el valor de α , se debe utilizar la ecuación (D.7.21) (ver Figura D.7.18).

Los coeficientes utilizados en la ecuación (D.7.21), deben determinarse experimentalmente por parte de la persona prestadora del servicio público de alcantarillado o ser suministrados por el fabricante del sumidero.

$$Q_1 = (k + c) \times L \times y_A \times \sqrt{g \times y_A} \quad (\text{D.7.21})$$

donde:

- Q_1 = Caudal captado por el sumidero (m³/s).
- k = Coeficiente de captación (adimensional).
- L = Longitud de la ventana del sumidero (m).

- y_A = Profundidad de flujo de aproximación al sumidero (m).
 g = Aceleración de la gravedad (m/s²).
 c = Coeficiente que se determina a partir de las ecuaciones mostradas a continuación.

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{0.45}{1.12^M} \\
 M &= \frac{L \times Fr^2}{a \times \tan \theta} \\
 Fr^2 &= \frac{v_A^2}{g \times y_A}
 \end{aligned}
 \tag{D.7.22}$$

donde:

- a = Profundidad de depresión aguas arriba del sumidero (m).
 θ = Ángulo de pendiente de la depresión (grados).
 v_A = Velocidad de aproximación al sumidero (m/s).
 Fr = Número de Froude (adimensional).
 y_A = Profundidad de flujo de aproximación al sumidero (m).
 g = Aceleración de la gravedad (m/s²).

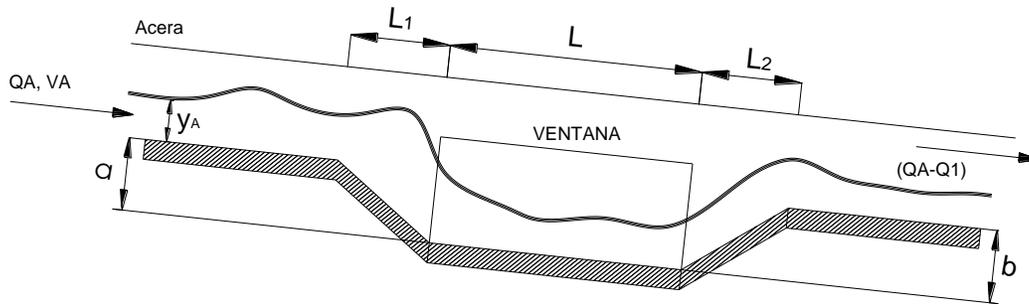


Figura D.7.18 Sumidero de ventana con depresión

En el caso de que la profundidad de depresión aguas abajo, b , sea diferente a la profundidad de depresión aguas arriba, a , y la longitud de transición aguas abajo, L_2 , sea mayor que 4 veces a , el valor del parámetro a se debe calcular con la ecuación (D.7.23):

$$a = \frac{b - L_2 \times S}{1 - 4 \times S}
 \tag{D.7.23}$$

donde:

- a = Altura de depresión aguas arriba del sumidero (m).
 S = Pendiente longitudinal de la vía (m/m).
 L_2 = Longitud de transición aguas abajo del sumidero (m).
 b = Altura de depresión aguas abajo del sumidero (m).

3. Cálculo del caudal de captación para un sumidero de ventana con depresión en puntos bajos

El comportamiento hidráulico de sumideros de ventana localizados en puntos bajos es similar al de un vertedero de cresta ancha. Por consiguiente, el cálculo puede llevarse a cabo haciendo uso de la ecuación (D.7.24) mostrada a continuación:

$$L = \frac{Q_1}{1.65 \times y^{1.5}}
 \tag{D.7.24}$$

donde:

- L = Longitud del sumidero (m).
- Q_1 = Caudal captado por el sumidero (m³/s).
- y = Profundidad del agua en la ventana del sumidero (m).

D.7.6.5.3 Sumideros de rejilla

Cuando los sumideros de rejilla tengan barras paralelas al sentido del flujo (ver Figura D.7.19) el diseñador debe utilizar el procedimiento explicado en este literal. Todos los coeficientes utilizados deben determinarse experimentalmente por parte de la persona prestadora del servicio público de alcantarillado o por el fabricante del sumidero. Teniendo en cuenta la configuración de las rejillas, el valor del caudal captado por el sumidero es despreciable y la longitud de la rejilla debe ser mayor que L_0 . Para calcular el valor de L_0 se debe hacer uso de la ecuación (D.7.25) mostrada a continuación:

$$L_0 = k \times y_A \times \frac{v_A}{\sqrt{g \times y_A}} \quad (\text{D.7.25})$$

donde:

- L_0 = Longitud mínima de rejillas (m).
- k = Coeficiente que depende de la geometría de la rejilla y de la separación entre barras (adimensional).
- y_A = Profundidad del flujo de aproximación al sumidero (m).
- v_A = Velocidad de aproximación al sumidero (m/s).
- g = Aceleración de la gravedad (m/s).

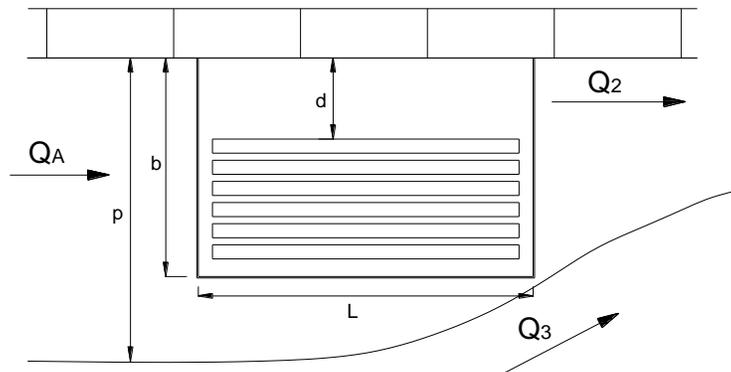


Figura D.7.19 Sumidero de rejilla

En el caso anterior, el sumidero no capta la totalidad del agua de la cuneta. La longitud requerida por el sumidero para captar la totalidad del agua que transita por la cuneta, L' , se debe calcular con la ecuación (D.7.26). Este valor se debe multiplicar por un factor de seguridad igual que 2, para tener en cuenta la disminución del área efectiva por efecto de los sedimentos.

$$L' = 1.2 \times \tan\theta \times \frac{v_A}{\sqrt{g}} \times \sqrt{y_A - \frac{b}{\tan\theta}} \quad (\text{D.7.26})$$

donde:

- L' = Longitud de sumidero necesaria para captar todo el caudal (m).
- θ = Ángulo formado entre el bordillo y la carpeta de rodadura (grados).
- v_A = Velocidad de aproximación al sumidero (m/s).
- y_A = Profundidad de flujo de aproximación al sumidero (m).
- b = Distancia comprendida entre el bordillo y el final de la rejilla (m).

Entonces, se deben calcular los valores de L y L' con las ecuaciones (D.7.25) y (D.7.26) seleccionando el mayor de los dos. Si se quiere captar el caudal de la cuneta de forma gradual, a través de sumideros de rejilla en serie, se debe instalar una longitud $L < L'$ y el caudal que continúa es igual que $Q_2 + Q_3$. Los valores de $Q_2 + Q_3$ se deben calcular aplicando las siguientes ecuaciones:

$$Q_2 = 6 \times \frac{v_A^2 \times y_A \times d}{\sqrt{g \times y_A}} \times \left(\frac{d}{L}\right)^2 \quad (\text{D.7.27})$$

$$Q_3 = (L' - L) \times \sqrt{g} \times (y')^{\frac{3}{2}}$$

donde:

- Q_2 = Caudal que no es captado por el sumidero (m^3/s).
- Q_3 = Caudal que no es captado por el sumidero (m^3/s).
- y_A = Profundidad del flujo de aproximación al sumidero (m).
- v_A = Velocidad de aproximación al sumidero (m/s).
- g = Aceleración de la gravedad (m/s).
- L' = Longitud de sumidero necesaria para captar todo el caudal (m).
- L = Longitud del sumidero (m).
- d = Separación entre el bordillo del andén y el inicio de la rejilla del sumidero (m).
- y' = Profundidad de flujo que depende de la configuración geométrica de la zona de localización de la rejilla (m). Se debe calcular mediante la ecuación (D.7.28).

$$y' = y_A - \frac{b}{\tan \theta} \quad (\text{D.7.28})$$

donde:

- y_A = Profundidad del flujo de aproximación al sumidero (m).
- b = Distancia comprendida entre el bordillo y el final de la rejilla (m).
- θ = Ángulo formado entre el bordillo y la carpeta de rodadura (grados).

Cuando los sumideros de rejillas son colocados en puntos bajos, su capacidad de captación se debe calcular con la ecuación (D.7.29).

$$Q_1 = 0.6 \times A \sqrt{2g y_p} \quad (\text{D.7.29})$$

donde:

- Q_1 = Caudal captado por el sumidero (m^3/s)
- A = Área efectiva de la rejilla (m^2).
- g = Aceleración de la gravedad (m/s).
- y_p = profundidad promedio del agua sobre la rejilla (m).

D.7.6.5.4 Sumideros transversales

Para el diseño de los sumideros transversales, la longitud mínima de la rejilla requerida para captar un caudal determinado, se calcula teniendo en cuenta la ecuación (D.7.30) mostrada a continuación. El coeficiente de captación de esta ecuación debe determinarse experimentalmente por parte de la persona prestadora del servicio público de alcantarillado o ser suministrado por el fabricante del sumidero.

$$L = \frac{2Q}{e \times c \times b(2g \times E)^{0.5}} \quad (\text{D.7.30})$$

donde:

- L = Longitud de la rejilla transversal (m).
- Q = Caudal de diseño (m^3/s).

- e* = Área libre / Área total (adimensional).
c = Coeficiente de descarga del sumidero (adimensional).
b = Ancho del sumidero transversal (ancho de la calle) (m).
g = Aceleración de la gravedad (m/s).
E = Energía específica sobre la rejilla (m).

D.7.6.6 Procedimiento de cálculo de sumideros en pendiente continua

En aquellos casos en que la ubicación de los sumideros ocurra en áreas de pendiente continua, el diseño requiere de un proceso iterativo mediante el cual se determine la ubicación apropiada de cada sumidero sin que existan sobredimensionamientos o subdimensionamientos. Para calcular el espaciamiento entre las estructuras se deben llevar a cabo los siguientes pasos:

1. Seleccionar una ubicación de prueba y evaluar el área de drenaje contribuyente para la intensidad de lluvia y el período de retorno definido.
2. Determinar el caudal de escorrentía pico en el área seleccionada haciendo uso de los métodos de infiltración o el método racional según sea el caso.
3. Determinar la profundidad y el ancho de la lámina de agua sobre la cuneta para el caudal de diseño. Al caudal calculado para el área de drenaje correspondiente al sumidero se le debe sumar el caudal que no ha sido captado por los sumideros de aguas arriba. Finalmente, determinar las dimensiones de la lámina de agua en el punto localizado.
4. Reducir la separación si la profundidad en el borde de la vía es mayor que la altura del bordillo o el ancho de la lámina de agua es mayor que la permisible, teniendo en cuenta la importancia de la zona. En este caso se debe volver al paso 1. En caso contrario se debe aumentar la separación.
5. Repetir los pasos 1 al 4 para los demás sumideros localizados aguas abajo.

D.7.6.7 Limpieza y facilidad de mantenimiento de sumideros

Al igual que las estructuras de conexión e inspección las principales labores de mantenimiento de los sumideros en sistemas de alcantarillados de aguas lluvias están destinadas a la remoción de sólidos retenidos en el sistema. Para dichas labores de mantenimiento se permite el uso de los equipos y herramientas de limpieza que se emplean para el resto del sistema. Desde la etapa del diseño, se deben prever el mantenimiento y la limpieza de los sumideros. Para **sistemas con nivel de complejidad alto** deben dejarse accesorios que permitan evitar la entrada de los sedimentos al sistema de alcantarillado de aguas lluvias y/o combinado.

D.7.7 ALIVIADEROS DE ALCANTARILLADOS COMBINADOS

Los aliviaderos de alcantarillados combinados tienen como objetivo disminuir los costos de conducción de los caudales combinados de aguas residuales y aguas lluvias hasta el sitio de disposición final o hasta la planta de tratamiento de aguas residuales, en caso de que ésta exista. El principio de operación de estas estructuras consiste en dividir el caudal combinado de aguas lluvias y aguas residuales enviando parte de éste a drenajes que usualmente son cuerpos naturales de agua o a almacenamientos temporales, con el fin de disminuir el caudal conducido por los tramos de tuberías, los interceptores o los emisarios finales que llegan al sitio de disposición o a la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR).

En aquellos casos en que se disponga de tanques de almacenamiento temporal inmediatamente aguas abajo del aliviadero, el propósito fundamental debe ser el de almacenar temporalmente los contaminantes provenientes del primer lavado en épocas de lluvia, el cual puede tener índices de contaminación muy altos. Para el uso de tanques de almacenamiento temporal con el fin de retener el primer lavado deben tenerse en cuenta los planes de saneamiento y manejo de vertimientos del municipio o la región. En todo caso, el manejo de los aliviaderos se debe realizar dentro del concepto moderno del manejo integral del drenaje urbano, en el cual se deben conocer las características de la calidad del agua en todos los puntos del sistema.

La forma de operar los aliviaderos, usualmente involucra el uso de un vertedero. De esta forma, a medida que el caudal en la tubería aumenta como efecto de un evento de lluvias, aumenta la profundidad de flujo

en las tuberías. Si ésta alcanza un nivel superior al nivel de la cresta del vertedero, parte del caudal pasa al cuerpo receptor o a la estructura de almacenamiento temporal y el resto del caudal sigue hacia la planta de tratamiento de aguas residuales o al sitio de disposición final a través de las tuberías que conforman el sistema de alcantarillado.

Sin embargo, el diseño moderno de los aliviaderos tiene otra función, enmarcada dentro del concepto del manejo integral del agua urbana, la cual es tratar que todos los contaminantes vayan a la planta de tratamiento de aguas residuales. Esto último no es tan fácil de lograr en el caso de los sólidos suspendidos y disueltos, los cuales parcialmente se entregarían al cuerpo receptor al interior de la ciudad, en caso que no exista un sistema de almacenamiento temporal. Un buen diseño de un AAC debe lograr que los sólidos grandes no sean vertidos a los cuerpos receptores y vayan directamente a la planta de tratamiento de aguas residuales, en caso que ésta exista.

D.7.7.1 Consideraciones para su proyección

El caudal desviado por un aliviadero es función de la suma de los caudales de las aguas residuales y de las aguas lluvias, en los cuales la contaminación típica de los residuos de aguas residuales se mezclan con las aguas lluvias, de forma tal que se disminuye la concentración media de contaminantes en las aguas combinadas. Por consiguiente, el caudal aliviado lleva una carga residual aunque diluida que de todas formas puede afectar al cuerpo de agua receptor al interior de la ciudad.

Los impactos ambientales de los aliviaderos dependen, entre otros factores, del grado de dilución original, de las características hidrológicas de las lluvias, del comportamiento hidráulico de los aliviaderos y de las características hidráulicas, hidrológicas y de auto-depuración del cuerpo receptor, al igual que de los volúmenes de agua esperados para aliviar y de la capacidad de almacenamiento de los tanques localizados aguas abajo de los aliviaderos, con el fin de almacenar el primer lavado, en caso de que estos tanques existan. Por consiguiente, para el diseño de este tipo de estructuras es necesario tener en cuenta lo establecido en el plan de saneamiento y manejo de vertimientos respectivo y todos los efectos ambientales sobre los cuerpos receptores de agua y los objetivos de calidad definidos para cada uno de ellos.

D.7.7.1.1 Impactos de los aliviaderos en los alcantarillados combinados

La operación normal de los aliviaderos en alcantarillados combinados genera una serie de impactos sobre el cuerpo receptor de agua, los cuales se pueden dividir en efectos sobre la calidad del agua, efectos sobre la salud pública y efectos sobre la estética del cuerpo del agua. Los primeros causan el agotamiento del oxígeno disuelto en el cuerpo de agua. Por otro lado, los efectos sobre la salud pública están relacionados con las bacterias y microorganismos patógenos que puedan entrar al cuerpo receptor y que hayan sido generados en el sistema de alcantarillado. Finalmente, los problemas estéticos en el cuerpo de agua están asociados principalmente a las basuras y a cuerpos sólidos grandes que puedan salir del sistema de alcantarillado. En todos los casos se debe seguir lo establecido en la legislación ambiental vigente o aquella que la modifique o reemplace, descrita en el Título I: Componente ambiental para los sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo.

D.7.7.1.2 Primer lavado

En los sistemas modernos de alcantarillados de aguas combinadas, en particular en los **sistemas con niveles de complejidad medio alto y alto**, es importante tener en cuenta el efecto del primer lavado de las aguas lluvias, por sus características contaminantes particularmente altas. En general, este primer lavado se puede definir como la escorrentía que ocurre en los primeros 10 minutos de un evento de lluvia que caiga luego de un período seco de aproximadamente una semana. Esta primera escorrentía lava todos los contaminantes secos que se hayan depositado en la ciudad. Las cargas contaminantes altas están asociadas a los siguientes cuatro (4) efectos:

1. Lavado de la superficie de la cuenca tributaria y de los sumideros conectados al sistema de alcantarillado combinado.
2. El alto caudal inicial de agua, asociado con el evento de lluvia, tiende a acumular el flujo base existente previamente en las tuberías, en el frente de la creciente.
3. La resuspensión de sólidos cerca al lecho de las tuberías.
4. La resuspensión de los sólidos en el lecho sedimentado de las tuberías.

El primer lavado puede identificarse utilizando hidrogramas o polutogramas que se tengan registrados en el sistema, por parte de la persona prestadora del servicio público de alcantarillado. Un indicativo claro de la existencia de un primer lavado es el incremento agudo en la concentración de contaminantes cerca al inicio de la tormenta, lo cual puede identificarse en el polutograma. De hecho, aún si la concentración media de contaminantes permanece constante a medida que el caudal de escorrentía aumenta, esto implica un aumento en la tasa de carga contaminante. Para aquellas personas del **nivel de complejidad del sistema alto** en que existan datos de contaminación medidos en el sistema de alcantarillados, el diseñador puede utilizar dichos datos para otro sistema construidos dentro del mismo municipio.

D.7.7.2 Estudios previos

Deben estudiarse los sistemas existentes de recolección y evacuación de aguas residuales y lluvias, de donde usualmente se genera la posibilidad de disponer de un sistema combinado como una de las alternativas que debe analizarse. Es necesario establecer las características hidrológicas de la localidad, en particular de los posibles cursos de agua receptores de los volúmenes de aliviadero. Las características de los eventos de precipitación que puedan generar aliviadero de los tramos deben ser analizadas, al igual que la distribución temporal de la escorrentía en los lugares de aliviadero, para cuantificar los volúmenes de agua y cargas contaminantes derivados. Por otra parte, las características hidráulicas, hidrológicas y de calidad de agua del cuerpo receptor deben ser determinadas con el fin de establecer su capacidad de asimilación de los volúmenes aliviados.

Se requiere recopilar la legislación y normativa vigentes sobre vertimientos a cuerpos de agua receptores. Además, la capacidad de la planta de tratamiento, si existe, y las posibles previsiones de aumento de capacidad, deben ser consideradas también para el dimensionamiento de las estructuras de aliviadero, pues en sistemas combinados es necesario conocer el comportamiento integral de las redes de recolección, evacuación y aliviadero, junto con el tratamiento de las aguas residuales y la respuesta ambiental de los cuerpos de agua receptores. Al mismo tiempo debe garantizarse que se cumpla con lo establecido en plan de saneamiento y manejo de vertimientos (PSMV) aprobado para el municipio.

Con el fin de llevar a cabo el diseño de estructuras de aliviadero en alcantarillados combinados, el diseñador debe tener en cuenta los estudios previos establecidos en el literal D.2.2 de este título, especialmente aquellos relacionados con las características hidrológicas de la zona del municipio objeto del diseño, en particular de los posibles cursos de agua receptores de los volúmenes a ser aliviados. Por otro lado, el diseñador debe garantizar que se cumpla con lo establecido en el plan de saneamiento y manejo de vertimientos (PSMV), vigente, para el municipio objeto del diseño.

En los municipios con **nivel de complejidad del sistema alto**, y como recomendación a los municipios correspondientes al **nivel de complejidad del sistema medio alto**, el diseñador debe establecer las características hidráulicas, hidrológicas y de calidad de agua del cuerpo receptor, con el fin de poder calcular la capacidad de asimilación de éste, y así determinar qué capacidad de recepción de volúmenes aliviados, con su correspondiente contaminación, puede recibir.

Adicionalmente, en caso de que exista una planta de tratamiento de aguas residuales, el diseñador debe tener en cuenta su capacidad con el fin de llevar a cabo el diseño de las estructuras de aliviadero, debido a que dentro del concepto moderno del manejo integral de las aguas urbanas es obligatorio considerar el comportamiento integrado de las redes de alcantarillado, las estructuras de aliviadero, el tratamiento de las aguas residuales y, finalmente, la respuesta ambiental de los cuerpos de agua receptores, todo en forma integrada.

Para los **sistemas** de todos los **niveles de complejidad**, se debe hacer referencia al capítulo **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** de este título, el cual está relacionado con los aspectos ambientales referentes a los sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales y aguas lluvias.

D.7.7.3 Parámetros de Diseño

Para el diseño de los aliviaderos, el diseñador debe tener en cuenta las siguientes consideraciones de diseño:

1. En el diseño se debe asegurar que durante su operación hidráulica no se genere turbulencia que pueda ocasionar la resuspensión de sólidos.
2. Es muy importante que no exista la posibilidad de depósitos aguas abajo de la estructura de aliviadero, debido a que estos cambiarían la relación entre profundidad y caudal en el aliviaderos, ocasionando que empiece a operar prematuramente, entregando un caudal en exceso de aguas combinadas hacia el cuerpo receptor.
3. Se recomienda que la operación de vertimiento en los aliviaderos en alcantarillados combinados ocurra cerca al nivel óptimo. Si el vertimiento ocurre con una pequeña lámina de agua en las tuberías, se entregará agua contaminada en exceso al cuerpo receptor. Por otro lado, si el vertimiento ocurre con una gran lámina de agua en las tuberías, pueden ocurrir problemas de sobrecarga aguas arriba.
4. Se recomienda que el diseño asegure que se atrapen todos los sólidos grandes, logrando que estos continúen a través de las tuberías del sistema hacia la planta de tratamiento de aguas residuales o hacia sitios especiales para la disposición y el retiro de dichos sólidos.
5. Se debe cumplir con los planes de saneamiento y manejo de vertimientos vigente para el municipio.

Para llevar a cabo el dimensionamiento de los aliviaderos se deben tener en cuenta los siguientes parámetros:

D.7.7.3.1 Caudal aliviado

El factor de dilución es la relación entre el caudal a partir del cual el aliviadero comienza a derivar agua y el caudal de aguas residuales. Este factor necesariamente debe ser mayor que 1 y su valor depende del tamaño de la tubería, de su ubicación dentro del perímetro urbano, de la magnitud del caudal en el cuerpo de agua o del volumen de almacenamiento temporal en un cuerpo receptor y del impacto que los volúmenes aliviados puedan generar en éste.

El caudal de aliviadero corresponde al caudal medio diario de aguas residuales que llegan a la estructura multiplicados por el factor de dilución, el cual debe ser mayor que 1. Valores bajos de este factor corresponden a tramos secundarios que alivian cursos de agua con poco caudal, mientras que valores altos corresponden a interceptores o emisarios finales que descargan a un cauce con gran caudal. Debe notarse que cuanto mayor sea el factor de dilución, más grandes resultan las tuberías de la red y los posibles requerimientos de tratamiento pero menor es el impacto potencial en los cuerpos de agua receptores de las aguas de aliviadero, debido a los volúmenes derivados y a su concentración de contaminación. Necesariamente, un aliviadero no puede derivar aguas residuales no diluidas.

D.7.7.3.2 Frecuencia de aliviaderos

Desde el momento del diseño de un aliviadero y para los **sistemas** de todos los **niveles de complejidad**, se debe caracterizar la frecuencia de los eventos de precipitación que puedan generar caudales de escorrentía que produzcan la operación del aliviadero y los correspondientes vertimientos a los cuerpos receptores de agua. De esta manera puede establecerse el número esperado de veces por año en que va a operar el aliviadero. Esta frecuencia debe estar relacionada con el período de retorno de diseño de los tramos de la red de alcantarillado combinado. Cuanto mayor sea el período de retorno, menor debe ser la frecuencia anual de operación del aliviadero.

D.7.7.3.3 Volúmenes esperados de aliviadero

Para **sistemas con nivel de complejidad alto** y como recomendación para los demás **sistemas** el diseñador debe determinar los volúmenes de aliviadero esperados analizando las características de los eventos de lluvia del municipio que puedan generar escorrentía en la zona objeto del diseño.

Es importante tener en cuenta que dicha escorrentía es función de la humedad antecedente al evento de lluvia y al uso de la tierra. Por consiguiente, el volumen de aliviadero es función del hidrograma generado por el evento lluvia y de las características hidráulicas propias de la estructura. Con el fin de tener en cuenta lo anterior, el diseñador puede utilizar un módulo de escorrentía, de tal forma que los volúmenes aliviados correspondan a aquella escorrentía producida por encima de un cierto valor de dicho módulo. Este valor depende de las características climatológicas y de la cobertura del terreno en la zona objeto

del diseño. En caso de que no existan los datos necesarios para realizar este cálculo, el diseñador puede utilizar un módulo entre 10 y 20 L/s por ha de escorrentía directa.

D.7.7.3.4 Capacidad del cuerpo de agua receptor de asimilar las cargas contaminantes y volúmenes de agua de aliviadero

Para **sistemas con nivel de complejidad alto**, y como recomendación para **sistemas con nivel de complejidad medio alto**, teniendo en cuenta la importancia que los cuerpos receptores tienen para estos municipios, el diseñador debe tener en cuenta el efecto que los aliviaderos y sus caudales tienen sobre el cuerpo receptor, incluyendo el posible efecto de remanso acumulado hacia aguas arriba del sitio de descarga, en aquellos casos en que estos sean ríos o quebradas con baja pendiente.

Por consiguiente, antes de proceder al diseño del aliviadero, la corriente de agua o cuerpo receptor debe caracterizarse desde el punto de vista hidráulico, hidrológico y de calidad de agua, con el fin de establecer las condiciones de asimilación de caudales y de asimilación y depuración de carga contaminante. De igual forma, el diseñador debe tener en cuenta la hidrología del cuerpo receptor de agua, con el fin de asociar los caudales de aliviadero con los posibles caudales extremos que puedan ocurrir simultáneamente en dicho cuerpo.

D.7.7.3.5 Comportamiento hidráulico

Desde el punto de vista de la hidráulica de los aliviaderos, los parámetros de diseño de este tipo de estructuras corresponden, cuando se utilice un vertedero lateral, a la profundidad antes de la estructura de aliviadero, al régimen de flujo y a la longitud del vertedero y en caso de que exista una pantalla para incrementar su capacidad, la altura de ésta. En los aliviaderos que utilizan vertederos transversales son: la profundidad del flujo de aproximación, la altura del vertedero y las dimensiones de las tuberías de salida.

D.7.7.4 Cálculo del caudal de vertimiento

El caudal de vertimiento de los aliviaderos en alcantarillados combinados corresponde a la diferencia entre el caudal de entrada a la estructura de aliviadero menos el caudal que debe seguir hacia las tuberías de aguas abajo. Este último caudal se calcula de acuerdo con la ecuación (D.7.31).

$$Q_s = Q_{MD_i} + Q_{INF} + 1360 \times P + 2(Q_{I_i} + Q_{C_i} + Q_{OF_i}) \quad (D.7.31)$$

donde:

- Q_s = Caudal de vertimiento (L/día).
- Q_{MD} = Caudal medio diario inicial (L/día).
- Q_{INF} = Caudal por infiltraciones (L/día).
- P = Número de habitantes proyectados al período de diseño (hab).
- Q_{I_i} = Caudal de aguas residuales industriales inicial (L/día).
- Q_{C_i} = Caudal de aguas residuales comerciales inicial (L/día).
- Q_{OF_i} = Caudal de aguas residuales institucionales inicial (L/día).

En caso de que existan datos hidrológicos de la corriente de vertimiento que permitan hacer cálculos acerca del caudal base y de la frecuencia de caudales, el cálculo del caudal para dilución corresponde a aquel caudal excedido el 95% del tiempo en el cuerpo receptor. En este caso, para una dilución 7:1 para el diseño se puede utilizar la misma ecuación (D.7.31).

Sin embargo, los diseños modernos recomiendan una dilución 6:1, para la cual el caudal que debe seguir en las tuberías aguas abajo de la estructura de aliviadero corresponde al calculado de acuerdo con la ecuación (D.7.32) mostrada a continuación:

$$Q_s = Q_{MD_i} + Q_{INF} + 1815 P + 2(Q_{I_i} + Q_{C_i} + Q_{OF_i}) \quad (D.7.32)$$

donde:

- Q_s = Caudal de vertimiento (L/día).
- Q_{MD} = Caudal medio diario inicial (L/día).
- Q_{INF} = Caudal por infiltraciones (L/día).

- P = Número de habitantes proyectados al período de diseño (hab).
 Q_{I_i} = Caudal de aguas residuales industriales inicial (L/día).
 Q_{C_i} = Caudal de aguas residuales comerciales inicial (L/día).
 Q_{OF_i} = Caudal de aguas residuales institucionales inicial (L/día).

D.7.7.5 Diseño de aliviaderos de Vertedero Lateral

El flujo en un vertedero lateral es un flujo espacialmente variado, es decir aquel flujo en el cual sus características van cambiando como función del espacio. Los métodos de cálculo hidráulico para estos vertederos se basan en el análisis de la conservación del *momentum* o la energía entre dos secciones ubicadas aguas arriba y aguas abajo del vertedero y la conservación de la masa teniendo en cuenta el caudal de aliviadero y la longitud del vertedero. En todos los casos, los diseños hidráulicos deben apoyarse adecuadamente en los elementos teóricos correspondientes.

La operación de este tipo de vertederos debe ser libre, razón por la cual el espacio entre la cresta del vertedero y el nivel del agua del tramo que transporte las aguas lluvias aliviadas debe ser de al menos 0,05 m.

En general, los aliviaderos para los municipios con un **nivel de complejidad del sistema alto**, deben ser del tipo vertedero lateral, con vertimiento a uno de los lados. Sin embargo, el diseñador debe seleccionar el tipo de aliviadero teniendo en cuenta aspectos económicos, de disponibilidad de espacio, aspectos topográficos y el tipo de caudales de aliviadero, según cada caso en particular. Los diseños de aliviaderos de tipo vertedero lateral se deben llevar a cabo teniendo en cuenta lo establecido en los siguientes literales.

D.7.7.5.1 Método de cálculo

El flujo por encima de un vertedero lateral puede clasificarse en 6 tipos diferentes, tal como se muestra en la Figura D.7.20. De estos 6 tipos de flujo, se recomienda que durante la operación de las estructuras de aliviadero el flujo sea tipo II, el cual implica un flujo subcrítico a lo largo de toda la estructura, debido a que en este caso las suposiciones hechas para el cálculo tienen una mayor validez. En caso de que por razones topográficas no sea posible tener un flujo tipo II, se debe optar por el flujo tipo IV.

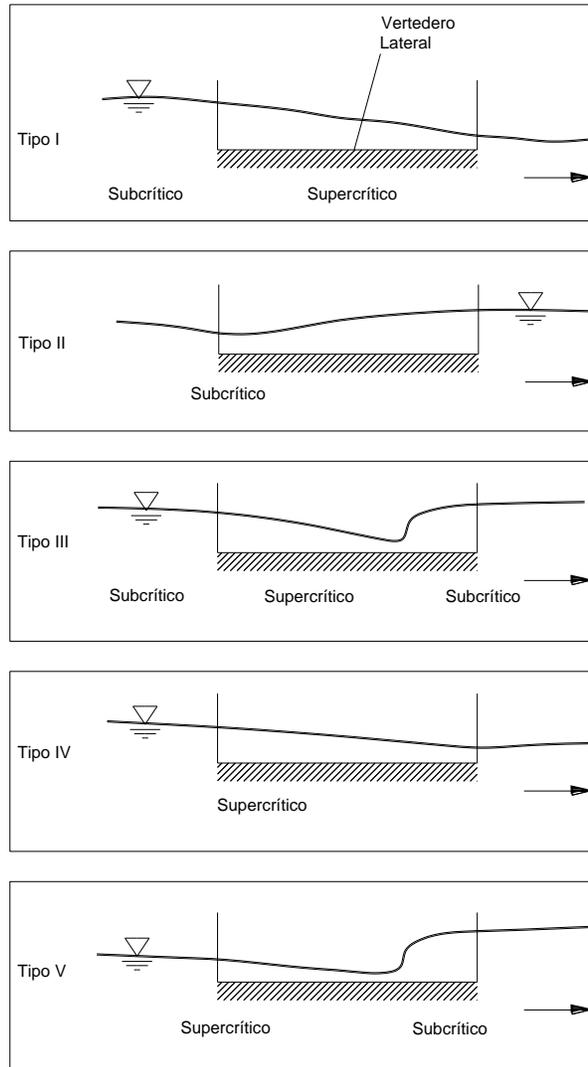


Figura D.7.20 Condiciones de flujo en un vertedero lateral

Con el fin de calcular el caudal de vertimiento, se hace uso de las ecuaciones de conservación del *momentum* lineal y de la masa para configurar las ecuaciones de flujo espacialmente variado que permiten el diseño de este tipo de estructuras. La ecuación de flujo espacialmente variado es la siguiente:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{Q_c y \left(-\frac{dQ_c}{dx} \right)}{(g B^2 y^3) - Q_c^2} \quad (D.7.33)$$

donde:

- Q_c = Caudal en la cañuela (m^3/s).
- y = Profundidad del agua en la cañuela (m).
- g = Aceleración de la gravedad (m/s^2).
- B = Ancho de la cañuela del vertedero (m).

Integrando esta última ecuación se llega a la ecuación (D.7.34) la cual permite el cálculo del caudal vertido por la estructura de aliviadero.

$$-\frac{dQ_c}{dx} = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g} H^{3/2} \quad (\text{D.7.34})$$

donde:

- Q_c = Caudal en la cañuela (m^3/s).
- C_d = Coeficiente de descarga del vertedero (adimensional).
- g = Aceleración de la gravedad (m/s^2).
- H = Altura de agua por encima de la cresta del vertedero (m).

El coeficiente de descarga de esta última ecuación se calcula de acuerdo con la ecuación (D.7.35) mostrada a continuación:

$$C_d = 0.602 + 0.0832 \frac{H}{H_v} \quad (\text{D.7.35})$$

donde:

- C_d = Coeficiente de descarga del vertedero (adimensional).
- H = Altura de agua por encima de la cresta del vertedero (m).
- H_v = Altura del vertedero (m).

Si se hace vertimiento a ambos lados de la estructura, debe duplicarse el valor de este último coeficiente.

D.7.7.5.2 Configuración y dimensiones

Para el caso de un aliviadero del tipo vertedero lateral, las dimensiones y configuración recomendadas para este tipo de estructuras de aliviadero se muestran en la Figura D.7.21 mostrada a continuación:

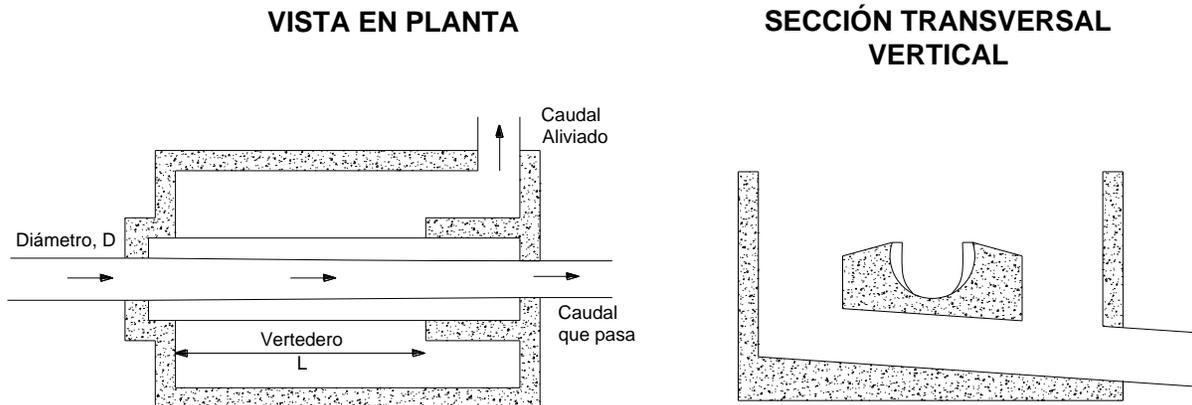


Figura D.7.21 Aliviadero de vertedero lateral¹⁴

D.7.7.6 Diseño de Aliviadero de Vertedero Transversal

En aquellos casos que por razones de espacio se dificulte el uso de los aliviaderos del tipo vertedero lateral, se puede utilizar un aliviadero del tipo vertedero transversal. Usualmente en el diseño hidráulico de los vertederos transversales sus estructuras asociadas se conocen como tanques de quietamiento. Hidráulicamente, estas estructuras operan como un vertedero natural y un tubo estrangulado, con el fin de evitar la contaminación ocasionada por los caudales de aliviadero, a partir del quietamiento del flujo dentro de la cámara, el cual ayuda a que los sólidos tiendan a sedimentarse y por consiguiente seguir hacia la tubería de aguas abajo, que forma parte del sistema de alcantarillado.

¹⁴ Fuente: Adaptación de "Urban Drainage", Butler David & Davies John, E & FN Spon, Londres, Inglaterra, 2000

Para este diseño es recomendable que la tubería de entrada (tubería de aguas arriba) que lleva el caudal a la estructura de aliviadero se encuentre completamente ahogada antes de que se alcance el nivel de operación del vertedero.

D.7.7.6.1 Método de cálculo

Para el cálculo de la estructura de vertimiento se hace uso de las ecuaciones de conservación de masa y conservación de *momentum* para establecer la ecuación de descarga de un vertedero normal. En el caso de las estructuras de aliviadero tipo vertedero transversal, el ancho del vertedero corresponde al ancho total de la cámara, tal como se muestra en la ecuación (D.7.36). Para este tipo de vertederos de ancho total, la ecuación que relaciona el caudal de salida con la altura de la lámina de agua por encima de la cresta del vertedero es la mostrada a continuación:

$$Q = \frac{2}{3} C_d \times b \times \sqrt{2g}(H + 0.0012)^{3/2} \quad (\text{D.7.36})$$

donde:

- Q = Caudal de vertimiento (m³/s).
- C_d = Coeficiente de descarga (adimensional).
- b = Ancho de vertedero (m).
- g = Aceleración de la gravedad (m/s²).
- H = Altura de agua por encima de la cresta del vertedero (m).

El coeficiente de descarga de esta última ecuación se calcula de acuerdo con la ecuación (D.7.37):

$$C_d = 0.602 + 0.0832 \times \frac{H}{H_v} \quad (\text{D.7.37})$$

donde,

- C_d = Coeficiente de descarga (adimensional).
- H = Altura de agua por encima de la cresta del vertedero (m).
- H_v = Altura del vertedero (m).

D.7.7.6.2 Configuración y dimensiones

La configuración y las dimensiones de una estructura con vertedero transversal se muestran en la Figura D.7.22. Es importante resaltar que todas las dimensiones recomendadas son función del diámetro de la tubería de entrada a la estructura.

La estructura debe ir acompañada de una media caña de diámetro cambiante entre el diámetro de entrada y el diámetro de la tubería de salida. Esta media caña debe ir acompañada de una con pendiente lateral en todo el fondo de la cámara con el fin de facilitar el movimiento de los sedimentos hacia dicha media caña. El diseño de esta estructura debe ser tal que se evite la sedimentación en tiempo seco.

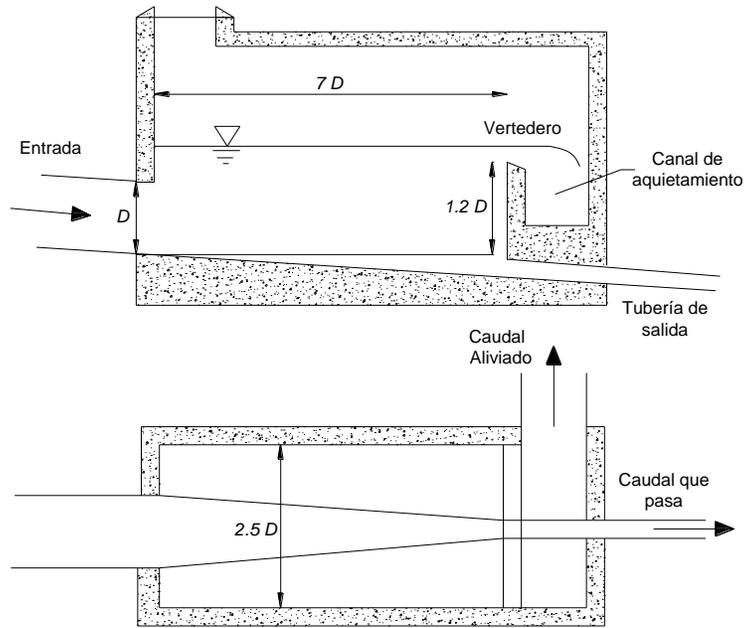


Figura D.7.22 Aliviadero de vertedero transversal¹⁵

D.7.7.7 Aliviadero de Vertedero Tipo Orificio

Otro tipo de aliviadero que puede ser utilizado para proyectos de alcantarillado combinado es el conocido como aliviadero de tipo orificio. En estos casos el diseño se debe hacer teniendo en cuenta lo establecido en la Figura D.7.23.

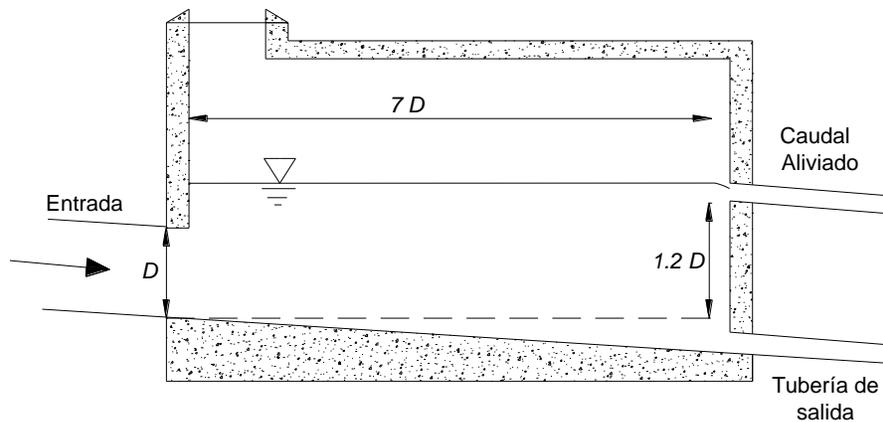


Figura D.7.23 Aliviadero de tipo orificio¹⁶

D.7.7.8 Aliviaderos modernos

Para los **sistemas con niveles de complejidad alto y medio alto**, a continuación se presentan otros tipos de estructuras en aliviaderos de alcantarillados combinados que pueden utilizarse para los sistemas de recolección y transporte de aguas combinadas. En caso de que el diseñador opte por utilizar una estructura como las mostradas a continuación, debe contar con la aprobación previa por parte de la persona prestadora del servicio público de alcantarillado en el municipio.

¹⁵ Adaptación de "Urban Drainage", Butler David & Davies John, E & FN Spon, Londres, Inglaterra, 2000.

¹⁶ Adaptación de "Urban Drainage", Butler David & Davies John, E & FN Spon, Londres, Inglaterra, 2000.

Sin embargo, es responsabilidad del diseñador plantear la alternativa del uso de estos aliviaderos modernos, en los **sistemas con niveles de complejidad medio alto y alto**, teniendo en cuenta el concepto moderno del manejo integral del drenaje urbano. Este tipo de aliviaderos modernos tienen la propiedad de evitar que los cuerpos sólidos grandes y los cuerpos flotantes que se muevan a través del sistema de alcantarillado combinado sean dirigidos, por los aliviaderos, hacia los cuerpos receptores de agua dentro de la ciudad.

D.7.7.8.1 Vertedero lateral moderno

- Principios de operación

El diseño moderno de vertederos laterales como estructuras de aliviadero en alcantarillados combinados corresponde a una mejora del vertedero lateral tradicional. Este diseño está compuesto de dos vertederos laterales, pantallas desnatadoras asociadas a estos y una zona de aquietamiento. La razón de utilizar vertederos laterales a ambos lados de la estructura obedece a que se ha encontrado que así se presenta un mejor comportamiento hidráulico de la estructura, en particular para evitar la formación de vórtices que puedan poner en suspensión sólidos del lecho de las tuberías.

Con el fin de retener los sólidos flotantes y la contaminación correspondiente al primer lavado, se recomienda que las estructuras de aliviadero con vertederos laterales estén complementadas con almacenamiento aguas abajo, tal como se establece en el literal D.7.7.9 de este título.

- Configuración y dimensiones

Las dimensiones y configuración recomendadas para este tipo de estructuras de aliviadero se muestran en la Figura D.7.24. Se debe tener en cuenta que todas las dimensiones son función del diámetro de la tubería de llegada a la estructura de aliviadero.

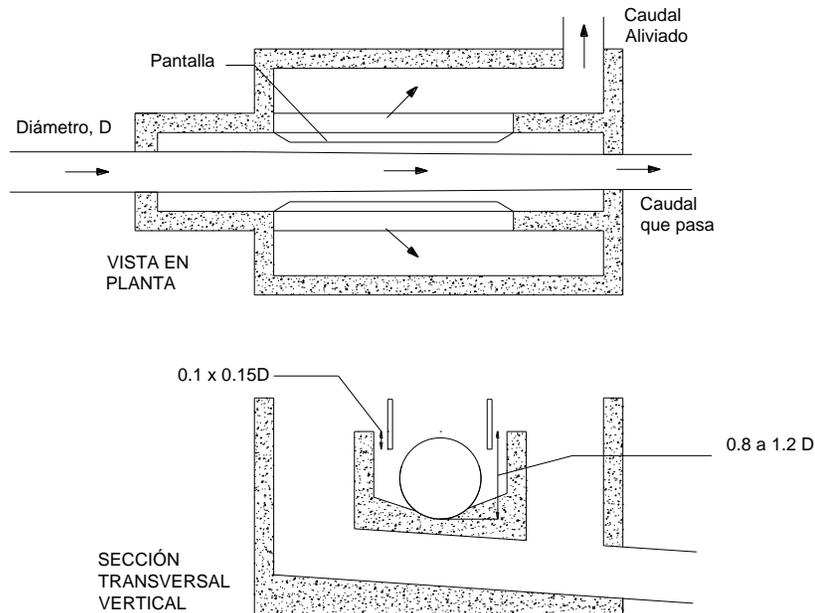


Figura D.7.24 Aliviadero moderno de vertedero lateral¹⁷

- Método de cálculo

El cálculo de este tipo de vertedero lateral debe hacerse siguiendo lo establecido en el literal D.7.7.5.1. En el diseño debe procurarse que el flujo sea subcrítico para todas las condiciones de operación de la estructura.

¹⁷ Fuente: "Urban Drainage", Butler David & Davies John, E & FN Spon, Londres, Inglaterra, 2000.

D.7.7.8.2 Vertedero transversal moderno

a. Principios de operación

El diseño moderno de vertederos transversales como estructuras de aliviadero en alcantarillados combinados corresponde a una mejora del vertedero transversal tradicional. Su funcionamiento y estructura es similar al vertedero tradicional, pero el vertedero está precedido por una barrera desnatadora para impedir que los sólidos flotantes vayan al cuerpo receptor de las aguas aliviadas; la forma de localización de esta pantalla genera adicionalmente una corriente descendente que permite que los sólidos flotantes sean enviados hacia la tubería de aguas abajo.

En el diseño de todas formas se recomienda que la tubería de aguas arriba, que lleva el flujo de entrada a la estructura aliviadero, se encuentre completamente ahogada antes de que entre en operación el vertedero.

b. Configuración y dimensiones

La configuración y las dimensiones de una estructura moderna con vertedero transversal se muestran en la Figura D.7.25. Es importante resaltar que todas las dimensiones recomendadas son función del diámetro de la tubería de entrada a la estructura.

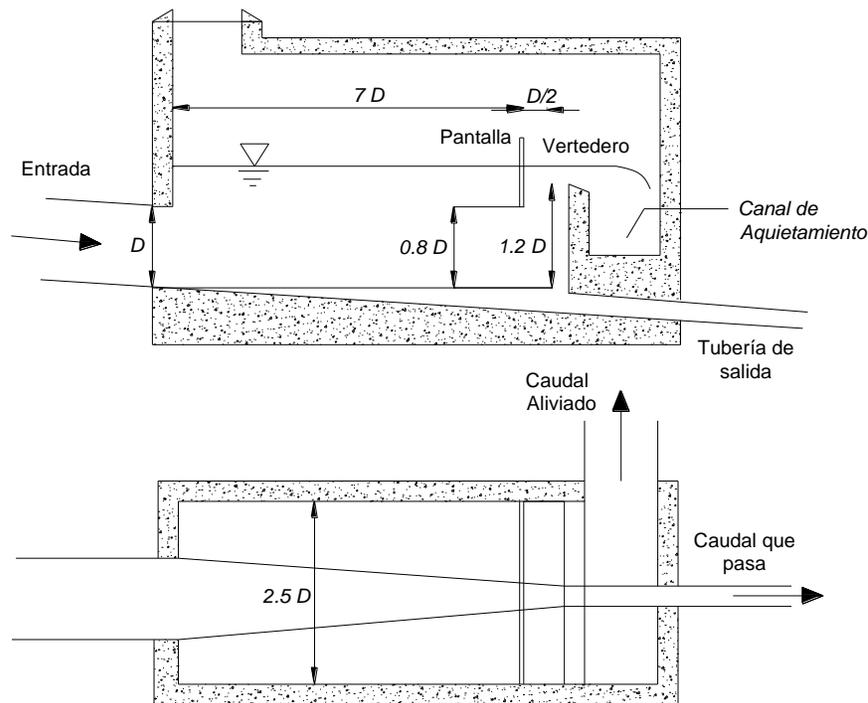


Figura D.7.25 Aliviadero de vertedero transversal moderno ¹⁸

c. Método de cálculo

El cálculo de este tipo de vertedero transversal debe hacerse siguiendo lo establecido en el literal D.7.7.6.1 de este título.

D.7.7.8.3 Aliviadero tipo vórtice

a. Principios de operación

Los aliviaderos en alcantarillados combinados del tipo vórtice se basan en el fenómeno de separación de sólidos que ocurre siempre que existan patrones circulares de flujo. Este comportamiento llevó al diseño de vertederos tipo vórtice en los cuales los sólidos tienden a concentrarse en la parte externa del flujo circular. Por consiguiente, el vertedero se localiza en la parte central de la cámara, tal como se muestra esquemáticamente en la Figura D.7.26.

¹⁸ Fuente: "Urban Drainage", Butler David & Davies John, E & FN Spon, Londres, Inglaterra, 2000.

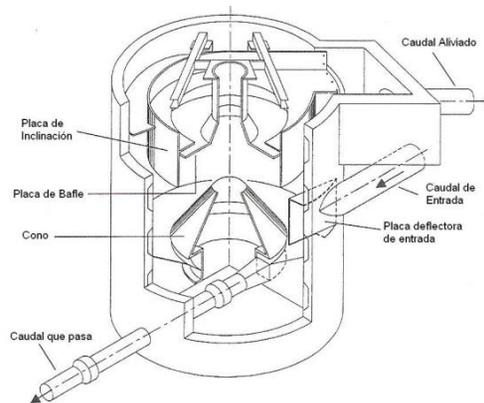


Figura D.7.26 Aliviadero tipo vórtice ¹⁹

b. Configuración y dimensiones

Los aliviaderos de tipo vórtice, conocidos también como separadores hidrodinámicos, deben solicitarse a los fabricantes con base en las especificaciones particulares del alcantarillado objeto del diseño. Por consiguiente, el uso de estos aliviaderos debe contar con la aprobación previa de la persona prestadora del servicio público de alcantarillado del municipio.

D.7.7.9 Almacenamiento del primer lavado

Para **sistemas con nivel de complejidad alto**, y como recomendación para **sistemas con nivel de complejidad medio alto**, se debe considerar la posibilidad de almacenar el volumen de agua aliviado durante el primer lavado, especialmente en los primeros eventos de lluvia de la temporada invernal. Es responsabilidad de la persona prestadora del servicio público de alcantarillado del municipio establecer cuáles de los aliviaderos deben incluir el almacenamiento de parte de los caudales de las aguas combinadas, teniendo en cuenta los siguientes literales.

D.7.7.9.1 Principios de operación

El propósito de acompañar una estructura de aliviadero en alcantarillado combinado con un almacenamiento es el de retener los contaminantes en el sistema de alcantarillado en lugar de que estos sean enviados al cuerpo de agua receptor, especialmente las aguas correspondientes al primer lavado, aún después de que el vertedero de la estructura ha entrado en operación durante un evento de lluvia. Una vez que la creciente ocasionada por el evento de lluvia ha pasado, el volumen de agua almacenada, usualmente con contaminación alta, debe entregarse nuevamente al sistema de alcantarillado con el fin de que sea transportado hacia la planta de tratamiento de aguas residuales.

Es importante tener en cuenta, para propósitos de diseño, que entre mayor sea el volumen de almacenamiento temporal, menor será la cantidad de contaminación que llega al cuerpo receptor de las aguas aliviadas. Por otro lado, un volumen mayor implica una estructura más costosa, tanto en términos económicos como en términos del espacio público. Por consiguiente, el diseño de almacenamientos de aliviaderos debe obedecer a un proceso de optimización económica que tenga en cuenta la variación temporal de la cantidad de contaminación durante un evento de precipitación particular.

En general, la práctica moderna implica que el almacenamiento preferiblemente debe estar acompañado de una estructura de aliviadero tipo vertedero lateral, tal como se describió en el literal D.7.7.5 de este título.

Las estructuras de almacenamiento pueden estar en línea o fuera de línea. En una configuración en línea el caudal pasa a través del tanque aún en las condiciones de tiempo seco para las cuales la capacidad del tanque no se utiliza. Cuando el caudal aumenta durante un evento de lluvia, el control de aguas abajo causa que el nivel suba con el fin de llenar el volumen de almacenamiento y eventualmente permitir la operación del aliviadero. Después del evento de lluvia el tanque se vacía por gravedad hacia las tuberías de aguas abajo.

¹⁹ Fuente: "Urban Drainage", Butler David & Davies John, E & FN Spon, Londres, Inglaterra, 2000.

En la configuración fuera de línea los caudales en exceso son dirigidos hacia el tanque a través de un vertedero que empieza a operar a medida que el nivel sube. Cuando el tanque de almacenamiento se encuentra lleno, un segundo vertedero entra en operación con el fin de aliviar parte del caudal hacia los cuerpos receptores de agua. Después del evento de lluvia, el tanque se vacía hacia las tuberías de aguas abajo ya sea mediante gravedad o mediante bombeo.

D.7.7.9.2 Cálculo del volumen de almacenamiento

El volumen de agua que se considera altamente contaminado para ser vertido, V_0 , se supone que está relacionado con el volumen de agua residual en el sistema en el momento de inicio del evento de lluvia. El volumen del primer lavado, V_F , para el cual es deseable proveer almacenamiento, es menor que el volumen V_0 en una cantidad igual al volumen de aguas residuales que pasa la estructura de aliviadero cuando la onda decreciente causada por el evento de lluvia se está aproximando. Por consiguiente:

$$V_F = V_0 - Q_0 \times T_a \quad (D.7.38)$$

donde:

V_F = Volumen del primer lavado (m^3).

V_0 = Volumen de agua que se considera altamente contaminado para ser vertido (m^3).

Q_0 = Caudal base de aguas residuales (m^3/s).

T_a = Tiempo que demora el agua lluvia desde la entrada al sistema hasta la salida en el aliviadero (s).

Además de optimizar el tamaño de almacenamiento, el diseñador tiene que tener cuidado con la configuración en planta de las cámaras y tanques en sí con el fin de evitar una sedimentación excesiva. Cuando el tanque se encuentra completamente lleno, se presentan condiciones ideales para la sedimentación de los sólidos suspendidos (y las concentraciones tienden a ser altas en el primer lavado para el cual se diseña el tanque). Por consiguiente, el diseñador debe crear condiciones de autolimpieza del tanque en el momento en que entre en su etapa de vaciado.

D.7.7.9.3 Configuración del tanque

Como recomendaciones para la configuración y el dimensionamiento de los tanques de almacenamiento, se ha encontrado que un canal semicircular para el flujo de tiempo seco con una pendiente longitudinal alta ayuda a general velocidades apropiadamente altas, para mantener la estructura limpia en tiempo seco. Los tanques que tienen las mejores propiedades de autolimpieza son tanques largos y delgados con un canal para flujo de tiempo seco único. Por consiguiente, la relación longitud a ancho debe mantenerse tan alta como sea posible procurando que el ancho no exceda los 4 m.

Dependiendo de las características topográficas en la zona de localización del aliviadero, así como también de las restricciones establecidas por la planeación urbana y las condiciones de recepción de los cuerpos de agua, la ubicación de los almacenamientos puede hacerse tanto en línea como fuera de línea del sistema de alcantarillado, tal como se muestra en la Figura D.7.27.

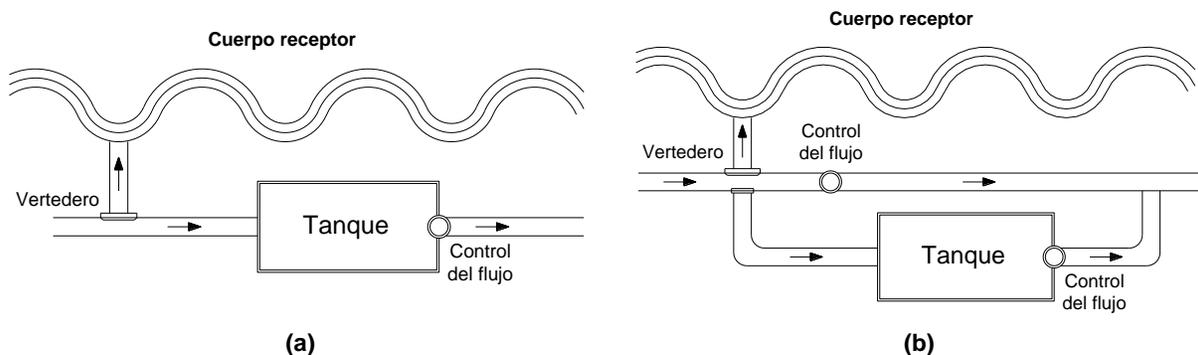


Figura D.7.27 Configuraciones de (a) Almacenamiento en línea (b) Almacenamiento fuera de línea

D.7.7.10 Estructuras de disipación de energía en aliviaderos

Debido a que las estructuras de alivio pueden generar descargar a cuerpos de agua receptores, dichas descargas deben ser proyectadas con sus respectivas estructuras de disipación de energía como se establece en el literal D.7.9 de este título.

D.7.7.11 Mecanismos de limpieza y mantenimiento de aliviaderos

La limpieza de las estructuras de alivio involucra la remoción de bloques, acumulación de grasas y, la acumulación de sólidos y basuras en la sección de la estructura destinada para la descarga ya sea vertedero, orificio, entre otros. Desde la etapa de diseño se deben tener en cuenta los procedimientos de limpieza y mantenimiento de estas estructuras.

D.7.7.12 Comprobación de diseño y puesta en marcha de aliviaderos

D.7.7.12.1 Curva de calibración

Para predecir y realizar correcciones al sistema de alivio, se debe realizar una curva de calibración de los parámetros de caudal de las estructuras reguladoras del flujo que permitan tomar decisiones ante condiciones operativas extremas de acuerdo con una comprobación hidráulica del funcionamiento del mismo.

D.7.7.12.2 Operación de llenado y vaciado de tanques del primer lavado

La operación de llenado y vaciado de los tanques adosados a las estructuras de alivio usados para retener el primer lavado debe ser comprobada de acuerdo con el rango de tiempos de retención estimados por el diseñador para diferentes caudales de entrada y diferentes caudales aliviados por las estructuras.

D.7.7.12.3 Eficiencia en la separación de residuos

Durante la operación de las estructuras de alivio se debe verificar la eficiencia de la estructura en cuanto a separación de residuos y se deben realizar los ajustes que sean necesarios en caso de no existir una separación eficiente de los sólidos que entran a las estructuras de alivio.

D.7.8 SIFONES INVERTIDOS

En caso de que el sistema de alcantarillado requiera atravesar un cuerpo de agua y/o evitar en el trazado la interferencia con otros servicios públicos se debe establecer, desde la etapa de planeación del sistema (ver literal D.1.4 de este título), la solución a dicho inconveniente teniendo en cuenta los requerimientos de distancias mínimas señaladas en el literal D.2.7.4. Algunas posibles soluciones podrían ser:

1. Cambios en el perfil y/o la pendiente del trazado.
2. Tuberías de desvío (*bypass*).
3. Puentes para las tuberías.
4. Sistemas de bombeo.
5. Sifones invertidos o estructuras parcialmente sifonadas.

Si la mejor alternativa es utilizar sifones invertidos, a continuación se establecen los lineamientos que se deben tener en cuenta al utilizar este tipo de estructuras en los sistemas de alcantarillado.

D.7.8.1 Consideraciones para su proyección

Los sifones invertidos generalmente son una serie de conductos dispuestos en forma de U, interconectados por dos cámaras, una al inicio del sifón, dotada de un vertedero, y otra al final del mismo. Los sifones invertidos deben estar conformados por mínimo dos tuberías en paralelo, con el fin de poder aislar una de ellas, sin perjuicio del funcionamiento, cuando sea necesario realizar las operaciones de mantenimiento y limpieza; en todo caso, en el diseño se debe asegurar un fácil acceso para las labores de inspección y limpieza.

El diseño de un sifón invertido debe cumplir con los requisitos de diámetro mínimo y esfuerzo cortante establecidos en este documento, de acuerdo con el tipo de alcantarillado, ya sea de aguas residuales y/o aguas lluvias.

D.7.8.2 Parámetros de diseño

La velocidad mínima de flujo de estas estructuras para el caso de alcantarillado de aguas residuales debe ser 1 m/s y el diámetro mínimo debe ser 200 mm. Para el sistema de aguas lluvias o combinado la velocidad mínima es 1,2 m/s y el diámetro mínimo de 300 mm. En cualquier caso, la velocidad mínima debe ser superior a la velocidad de autolimpieza determinada por esfuerzo cortante.

Las entradas a los conductos deben ser reguladas, de tal forma que las tuberías puedan entrar en servicio progresivamente.

D.7.8.3 Métodos de cálculo

El cálculo de los diámetros de las tuberías que conforman los sifones invertidos se hace en forma similar a cualquier conducto presurizado. El diámetro de diseño depende de la línea de energía y del caudal máximo de aguas residuales, lluvias o combinadas. Según esto, la pérdida de energía a lo largo del sifón invertido es igual a la suma de las pérdidas por fricción y pérdidas menores, teniendo en cuenta lo mostrado en la Figura D.7.28.

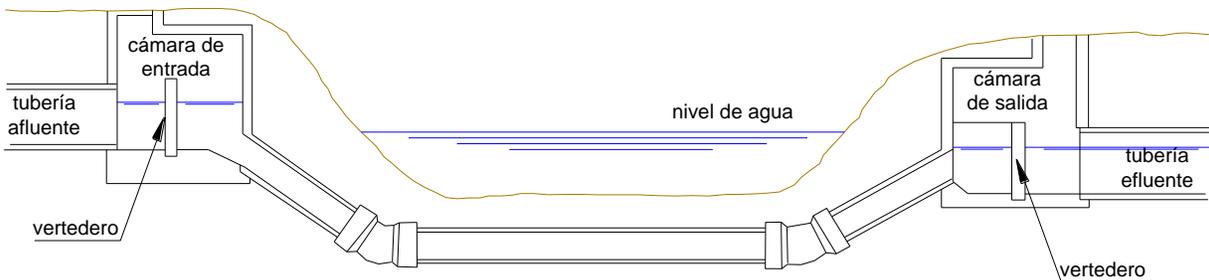


Figura D.7.28 Esquema sifón invertido

La pérdida total de energía en el sifón invertido está dada por la siguiente ecuación:

$$H = h_e + h_c + h_f + h_s \quad (D.7.39)$$

donde:

- H = Pérdida total de energía (m).
- h_e = Pérdida menor a la entrada del sifón (m).
- h_c = Pérdida menor por el codo del sifón (m).
- h_f = Pérdidas por fricción en la tubería del sifón (m).
- h_s = Pérdida menor a la salida del sifón (m).

Cada una de las pérdidas de energía se describe a continuación.

1. Pérdida menor en la cámara de entrada al sifón:

$$h_e = 1.1 \times \frac{v_1^2}{2g} \quad (D.7.40)$$

donde:

- h_e = Pérdida menor a la entrada del sifón (m).
- v_1 = Velocidad en la tubería de entrada al sifón (m/s).
- g = Aceleración de la gravedad (m/s²).

2. Pérdidas por los codos del sifón:

$$h_c = 0.1316 \times \frac{\alpha}{90} \times \frac{v_2^2}{2g} \quad (\text{D.7.41})$$

donde:

- h_c = Pérdida menor por el codo del sifón (m).
 α = Ángulo del codo del sifón (grados).
 v_2 = Velocidad en la tubería de salida de sifón (m/s).
 g = Aceleración de la gravedad (m/s²).

3. Pérdidas por fricción en la tubería del sifón:

$$h_f = f \frac{l}{d} \frac{v_2^2}{2g} \quad (\text{D.7.42})$$

donde:

- h_f = Pérdidas por fricción en la tubería del sifón (m).
 f = Factor de fricción (adimensional).
 l = Longitud de la tubería del sifón (m).
 d = Diámetro de la tubería del sifón (m).
 v_2 = Velocidad en la tubería de salida de sifón (m/s).
 g = Aceleración de la gravedad (m/s²).

4. Pérdida menor en la cámara de salida del sifón:

$$h_s = \left(\frac{A_3}{A_2} - 1 \right) \frac{v_2^2}{2g} \quad (\text{D.7.43})$$

donde:

- h_s = Pérdida menor a la salida del sifón (m).
 A_2 = Área mojada transversal del sifón (m²).
 A_3 = Área mojada transversal de la tubería de salida (m²).
 v_2 = Velocidad en la tubería de salida de sifón (m/s).
 g = Aceleración de la gravedad (m/s²).

D.7.8.4 Mecanismos de limpieza

En algunos casos, deben proyectarse desarenadores inmediatamente aguas arriba del sifón invertido para evitar la entrada de sedimentos y sólidos gruesos al sistema. Pueden presentarse problemas de limpieza en estas estructuras.

Comúnmente, las tuberías pequeñas de los sifones invertidos suelen taponarse con sólidos que quedan retenidos en los codos. Para evitar este problema se recomienda colocar rejillas ubicadas de tal forma que el material recogido pueda eliminarse. La rejilla debe colocarse en los conductos con diámetro menor o igual a 760 mm.

La limpieza de los sifones puede hacerse a través utilizando agua a presión, y estos pueden generarse de diversas formas:

1. Creación de un remanso del agua, para posteriormente liberar el flujo retenido.
2. Admisión de agua limpia en la parte superior del sifón invertido.
3. Dotación de un mecanismo de limpieza permanente en el sifón.
4. Limpieza manual, utilizando sondas u otro tipo de herramienta, tras vaciar el sifón.

En cada extremo del sifón invertido pueden ubicarse cámaras de inspección o cámaras de limpieza que sirvan de acceso para quitar las obstrucciones, y de entrada en el caso de alcantarillas grandes.

Para que la limpieza del sifón invertido sea fácil, no deben considerarse ángulos mayores a 45° verticales u horizontales, sino que deben proyectarse curvas suaves. Tampoco es aconsejable diseñar para pendientes mayores a 22,5°, ya que éstas dificultan la remoción de sedimentos. De ninguna forma se permiten cambios de diámetro a través de la longitud del sifón.

D.7.9 ESTRUCTURAS DE DESCARGA Y DISIPACIÓN DE ENERGÍA

El diseño de las estructuras de descarga y de sus correspondientes estructuras de disipación de energía depende en gran medida de las condiciones locales en el sitio de descarga. En el diseño se deben tener en cuenta todos aquellos aspectos ecológicos que puedan llegar a afectar el cuerpo receptor. Se debe preferir aquellos casos en que se utilicen condiciones naturales para la construcción y operación de las estructuras de descarga, tales como el aprovechamiento de los recursos naturales del lugar.

Toda estructura de descarga que forme parte de los sistemas de alcantarillados debe incluir medidas de seguridad que impidan el acceso, mediante el uso de algún tipo de rejilla. Las estructuras de disipación de energía deben diseñarse con el fin de entregar los caudales de aliviaderos en alcantarillados combinados, los caudales de aguas lluvias y otros tipos de caudales de agua, provenientes de las actividades de lavado del sistema de acueducto, a los canales de drenaje natural y cuerpos receptores de los municipios atendidos por la persona prestadora del servicio público de alcantarillado. Estas estructuras tienen como objetivo primordial entregar el agua con un nivel de energía tal que se minimice el riesgo de socavación local o erosión en los puntos de descarga.

En general, las estructuras de disipación de energía deben reducir la velocidad del flujo haciendo una transición de estado de flujo supercrítico a estado del flujo subcrítico. Las altas velocidades del flujo supercrítico se presentan en las tuberías de alta pendiente, en las estructuras de caída, en las descargas de fondo, etc. Las estructuras de disipación de energía recomendadas para los sistemas de alcantarillado incluyen las estructuras de entrega con canales rugosos, las estructuras de caída libre con resalto hidráulico y los canales escalonados. Cualquier otro tipo de estructura debe estar plenamente soportado técnica, ambiental y económicamente que permita la sustentación ante la persona prestadora del servicio público de alcantarillado, para los **sistemas con niveles de complejidad medio alto y alto y para los sistemas con niveles de complejidad bajo y medio**, siempre que los últimos no sean presentados a través del mecanismo de “Ventanilla Única” al Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico.

D.7.9.1 Estructuras de entrega con canales rugosos

En estas estructuras, se utilizan canales con bloques de impacto instalados en la base de éstos, los cuales disipan energía debido a la resistencia contra el flujo, simulando una rugosidad elevada. El canal de entrega puede tener diversas pendientes y su longitud no afecta la eficiencia de disipación de la estructura. Aunque este tipo de estructura es válida para cualquier caudal, entre más pequeño sea el caudal es menos costosa, ya que se requiere una menor cantidad de bloques y un canal más angosto. En todo caso, el diseñador debe justificar técnica y económicamente el uso de este tipo de estructuras de entrega.

Para el diseño se deben tener en cuenta los siguientes aspectos generales y la Figura D.7.29:

1. Determinar la pendiente longitudinal del canal de entrega. Se recomienda que el canal sea rectangular y la pendiente longitudinal sea de 2:1 (26,5° aproximadamente).
2. Determinar el ancho de la estructura de acuerdo con el caudal total y el máximo caudal por unidad de ancho permisible, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$q = 0.14158 + 0.128Q \quad \text{(D.7.44)}$$

donde:

q = Caudal por unidad de ancho de canal de descarga (m³/s).

Q = Caudal máximo en el canal de descarga (m³/s).

3. La velocidad de aproximación debe ser menor que la velocidad crítica de flujo. Se recomienda que la velocidad de entrada al canal de entrega sea la mitad de la velocidad crítica.
4. Se recomienda que la altura del bloque (h_b) sea igual que 0,9 veces la profundidad crítica.

5. El ancho de cada bloque (w en la Figura D.7.29) y la separación entre ellos debe ser igual. Se recomienda que no sea menor que la altura del bloque (h_b), ni mayor que 1,5 veces la altura del bloque. En el caso en que se ubiquen bloques que estén unidos a las paredes del canal, estos deben tener un ancho mínimo de $1/3$ de la altura de los bloques y un máximo de $2/3$ de la altura del bloque.
6. La distancia de separación entre bloques (s) debe ser, como mínimo, 2 veces la altura del bloque y máximo 1,8 m.
7. Se recomienda emplear por lo menos 4 filas de bloques de impacto.
8. El espesor de la parte superior del bloque (T) debe ser mínimo 0,20 m y máximo 0,25 m. Así mismo, el espesor de la parte inferior del bloque debe ser 2 veces el espesor de la parte superior.

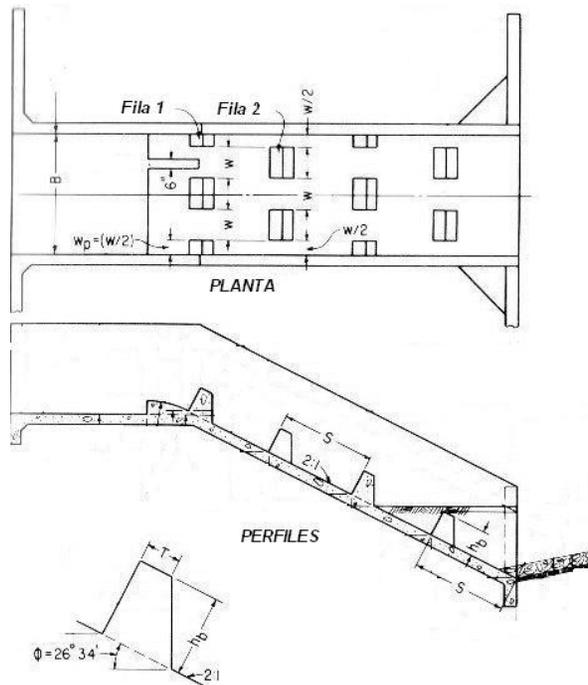


Figura D.7.29 Esquema estructura de entrega con bloques²⁰

D.7.9.2 Estructuras de caída libre y resalto hidráulico

Cuando se proyecten canales de descarga que impliquen pendientes superiores a la pendiente máxima, y para que no se produzca erosión, en el diseño del canal se deben incluir estructuras de caída libre teniendo en cuenta los siguientes lineamientos:

1. El canal debe diseñarse en forma escalonada. El escalonamiento debe ser obtenido por estructuras que proporcionen caídas verticales o caídas inclinadas.
2. 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.
3. En una rápida (caída inclinada con una pendiente alta), el flujo pasará de subcrítico a supercrítico a lo largo de un canal inclinado construido en un material no erosionable capaz de resistir las velocidades que se presentan. Aguas abajo de la rápida debe existir una estructura de disipación de entrega al cauce natural u otro tramo de baja pendiente.
4. 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.

²⁰ Adaptado de "Design of small canal structures". United States Department of the Interior. Bureau of Reclamation. 1978

Desde el punto de vista hidráulico, las estructuras de caída libre se recomiendan cuando se tiene una lámina de agua pequeña en la descarga. La disipación de energía es producida por el impacto de la lámina de agua y por el resalto hidráulico. Su funcionamiento está basado en el cambio súbito de la aceleración de flujo, y normalmente son utilizadas cuando se tiene un flujo subcrítico aguas arriba de la estructura de descarga (ver Figura D.7.30). Este tipo de estructuras se pueden utilizar para caídas de hasta de 7 u 8 m, para caudales hasta de 10 m³/s y para un extenso rango de profundidades del agua. El diseñador debe tener en cuenta la protección de los materiales en los puntos donde ocurre la disipación de energía.

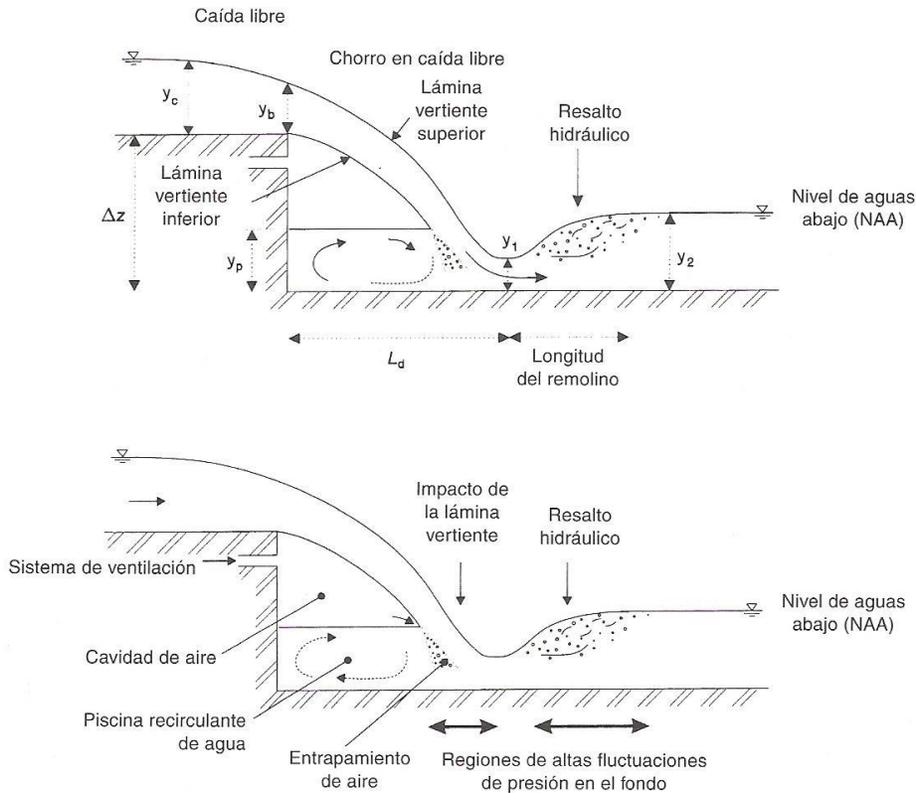


Figura D.7.30 Esquema de estructura de caída²¹

Debido a la distribución de presiones en el borde de la caída, la profundidad crítica se encuentra a una distancia horizontal igual que 3 ó 4 veces la profundidad crítica, aguas arriba del borde de caída.

La profundidad en el borde es igual que 0,715 veces la profundidad crítica, para canales anchos de baja pendiente (cercana a la horizontal). La profundidad crítica para canales rectangulares y para canales trapeciales anchos, está dada por la siguiente ecuación:

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{gB^2}} \quad (D.7.45)$$

donde:

- y_c = Profundidad crítica (m).
- Q = Caudal (m³/s).
- g = Aceleración de la gravedad (m/s²).

²¹ Tomado de "Hidráulica del Flujo en Canales Abiertos"; Hubert Chanson; 1999.

B = Ancho del canal (m).

El diseñador debe tener en cuenta aspectos como la elevación de la cresta, el caudal de descarga, el ancho de la cresta, el nivel aguas abajo del cuerpo de agua o canal de drenaje receptores ($z_{\text{cresta}} - \Delta z$), la longitud de caída y la posible socavación en el sitio de impacto del agua.

Para calcular la estructura de caída se debe seguir el siguiente procedimiento, de acuerdo con lo establecido en la figura D.7.30:

1. Seleccionar el nivel de la cresta nivel de la estructura de caída (z_{cresta}) en el punto superior del escalón de caída, para lo cual se debe tener en cuenta la topografía y el nivel de almacenamiento del cuerpo receptor.
2. Determinar el caudal de diseño.
3. Escoger un ancho de cresta, B .
4. Calcular la profundidad crítica, de acuerdo con la ecuación (D.7.45).
5. Determinar el nivel de fondo del canal o cuerpo receptor, igual a $z_{\text{cresta}} - \Delta z$.
6. Para el caudal de diseño, calcular la longitud de caída y las características del impacto de la caída, de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$L_d = 4.30 \times \Delta z \times \left(\frac{y_c}{\Delta z}\right)^{0.81} \quad (\text{D.7.46})$$

$$y_p = \Delta z \times \left(\frac{y_c}{\Delta z}\right)^{0.66} \quad (\text{D.7.47})$$

$$y_1 = 0.54 \times \Delta z \times \left(\frac{y_c}{\Delta z}\right)^{1.275} \quad (\text{D.7.48})$$

$$y_2 = 1.66 \times \Delta z \times \left(\frac{y_c}{\Delta z}\right)^{0.81} \quad (\text{D.7.49})$$

donde:

- L_d = Longitud de caída (m).
- y_p = Altura de la piscina (m).
- y_1 = Profundidad del agua en el punto de impacto aguas abajo de la caída (m).
- y_2 = Profundidad de flujo aguas abajo del resalto hidráulico (m).
- Δz = Altura de la caída (m).
- y_c = Profundidad crítica (m).

La eficiencia de disipación del resalto hidráulico está definida por la siguiente ecuación:

$$E = \frac{E_1 - E_2}{E_1} \times 100\% \quad (\text{D.7.50})$$

donde:

- E = Eficiencia del resalto (%).
- E_1 = Energía específica aguas arriba del resalto (m).
- E_2 = Energía específica aguas abajo del resalto (m).

Si las condiciones de flujo en el canal o cuerpo receptor son fijas, el diseñador debe hacer un proceso iterativo hasta que la lámina de agua, aguas abajo del resalto, coincida con el nivel natural del agua en el canal o cuerpo receptor. Cuando se tiene una estructura de caída libre, con un flujo supercrítico en la zona aguas arriba de la caída, se debe utilizar la siguiente ecuación:

$$\frac{y_1}{y_c} = \frac{2Fr^{-2/3}}{1 + \frac{2}{Fr^2} + \sqrt{1 + \frac{2}{Fr^2} \left(1 + \frac{\Delta z}{y_c} Fr^{2/3}\right)}} \quad (\text{D.7.51})$$

donde:

- y_1 = Profundidad del agua en el punto de impacto aguas abajo de la caída (m).
- y_c = Profundidad crítica (m).
- Δz = Altura de la caída (m).
- Fr = Número de Froude aguas arriba de la caída (-).

D.7.9.3 Estructuras de caída inclinada o rápida

Las estructuras de entrega pueden utilizar rápidas inclinadas como variación a la caída libre. Se debe establecer la geometría de la rápida teniendo en cuenta la variación del nivel de agua a través de la misma y su coincidencia con el nivel de agua del cuerpo receptor para el periodo retorno de diseño, verificando la inexistencia de problemas erosivos. Se debe prever siempre la formación de resaltos hidráulicos aguas abajo de la misma y por lo tanto es necesario verificar la coincidencia crítica de los niveles de agua entre la entrega y el cuerpo receptor. Adicionalmente deben estar acompañadas de una estructura de disipación de energía. La implementación de este tipo de estructuras y la fundamentación de las suposiciones de diseño debe ser aprobada por la persona prestadora del servicio público de alcantarillado.

D.7.9.4 Canales escalonados

Este tipo de estructura de disipación de energía se debe utilizar cuando la caída vertical es superior a 8 m, o cuando por dificultad topográfica no se puede construir una caída libre. Estas estructuras se pueden calcular como una sucesión de caídas, en las cuales los pequeños flujos generan una sucesión de flujos saltantes. Al final de cada escalón se presentan condiciones de flujo crítico, produciéndose un impacto del flujo en el escalón de aguas abajo. Posteriormente, se forma un resalto hidráulico obteniendo un flujo subcrítico que se prolonga hasta la siguiente caída (ver Figura D.7.31).

La disipación de energía se ocasiona por el rompimiento y mezcla del chorro, y por la formación de un resalto hidráulico en el escalón. La pérdida total de altura piezométrica, ΔH , es igual a la diferencia entre la máxima altura disponible, H_1 , y la altura residual aguas abajo, H_{res} . La pérdida total de energía se puede calcular como:

$$\frac{\Delta H}{H_1} = 1 - \left(\frac{0.54 \left(\frac{y_c}{\Delta z}\right)^{0.275} + \frac{3.43}{2} \left(\frac{y_c}{\Delta z}\right)^{-0.55}}{\frac{3}{2} + \frac{\Delta z}{y_c}} \right) \quad (\text{D.7.52})$$

donde,

- ΔH = Pérdida total de altura debido a la estructura escalonada (m).
- y_c = Profundidad crítica (m).
- H_1 = Máxima altura disponible aguas arriba de la estructura (m).
- Δz = Altura total de caída (m).

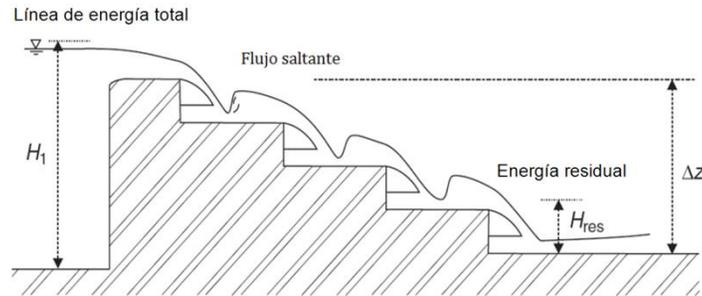


Figura D.7.31 Esquema de caída escalonada²²

En aquellos casos donde el caudal de flujo es grande, el régimen de flujo saltante en el canal escalonado se convierte en un régimen de flujo rasante, es decir un flujo turbulento extremadamente rugoso. La transición de flujo saltante a flujo rasante es función de la altura del escalón y de la pendiente del canal; el régimen de flujo rasante se presenta cuando se cumple la siguiente expresión:

$$\frac{y_c}{h} > 1.057 - 0.465 \times \frac{h}{l} \quad (\text{D.7.53})$$

donde:

- y_c = Profundidad crítica (m).
- h = Altura del escalón (m).
- l = Longitud del escalón (m).

Para el cálculo de la energía residual en el canal escalonado cuando el régimen de flujo es rasante se debe utilizar la Figura D.7.32 mostrada a continuación.

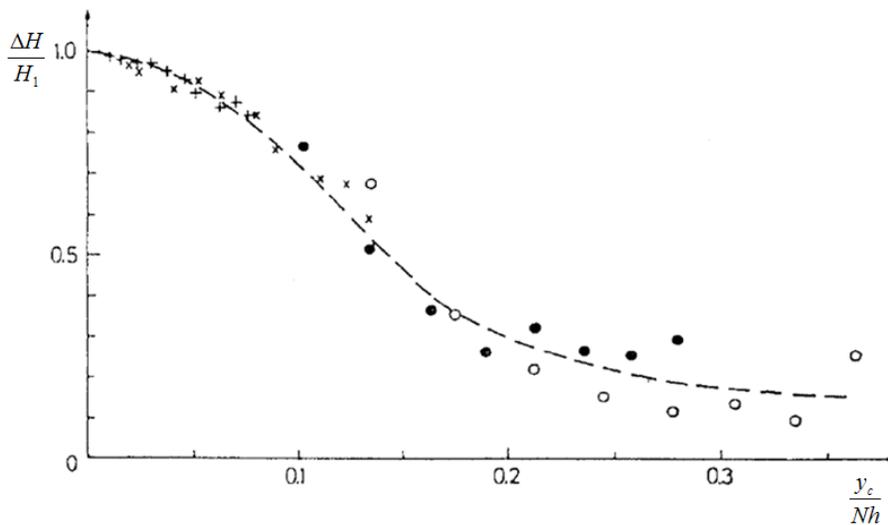


Figura D.7.32 Relación entre porcentaje de disipación y altura caída²³

donde:

- h = Altura del escalón (m).

²² Tomado de "Hidráulica del Flujo en Canales Abiertos"; Hubert Chanson; 1999.

²³ Tomado de "Hydraulic Design Handbook"; Larry W. Mays; 1999

- N = Número de escalones (adimensional).
 y_c = Profundidad crítica (m).
 ΔH = Pérdida total de altura debido a la estructura escalonada (m).
 H_1 = Máxima altura disponible aguas arriba de la estructura (m).

D.7.10 COMPROBACIÓN DE DISEÑO Y PUESTA EN MARCHA DE ESTRUCTURAS COMPLEMENTARIAS EN LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

El diseñador debe establecer el procedimiento de verificación y de puesta en marcha de las estructuras complementarias de los sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales y/o lluvias. De todas formas para todas las estructuras complementarias se debe determinar la línea de gradiente hidráulico con respecto al caudal máximo de diseño y verificar que no se presenten sobrecargas en dichas estructuras ni en los conductos receptores. Especialmente para las estructuras de descarga y disipación de energía se deben estimar las condiciones de operación para los niveles de agua medio, máximo y mínimo del cuerpo receptor teniendo en cuenta la formación de resaltos hidráulicos.

D.7.11 ASPECTOS GENERALES GEOTÉCNICOS, ESTRUCTURALES Y CONSTRUCTIVOS DE LAS ESTRUCTURAS COMPLEMENTARIAS DE LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

Las consideraciones geotécnicas y estructurales de todas las estructuras complementarias deben estar de acuerdo con lo establecido en los capítulos G.2 y G.3 del Título G del RAS: “*Aspectos Complementarios*”. Para cámaras simples deben seguirse las especificaciones técnicas correspondientes del Instituto Colombiano de Normas Técnicas -ICONTEC (norma técnica NTC 2802 para cámaras de inspección, construidas en mampostería de ladrillo tolete recocido) más las consideraciones de los anteriores literales.

Las estructuras especiales deben conllevar consideraciones de diseño y construcción específicas, las cuales deben estar plenamente justificadas. Dado que las cámaras de inspección pueden constituir uno de los elementos más importantes de entrada de contribuciones por infiltración en sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales y lluvias, es necesario que las cámaras construidas en mampostería estén adecuadamente impermeabilizadas en su cara exterior con morteros diseñados para tal fin.

CAPÍTULO D.8

D.8. ESTACIONES ELEVADORAS Y/O DE BOMBEO

D.8.1 ALCANCE

El objetivo de este capítulo es establecer los requisitos mínimos y las condiciones básicas que deben cumplir las estaciones elevadoras y de bombeo que se construyan en cualquiera de las etapas de un sistema de recolección y evacuación de aguas residuales y lluvias, con el fin de garantizar la seguridad, la confiabilidad, la durabilidad, la funcionalidad, la calidad del agua, la eficiencia y la sostenibilidad del sistema.

En este capítulo se incluyen los estudios previos, las condiciones generales, los parámetros de diseño, los aspectos de la puesta en marcha, los aspectos de la operación y los aspectos del mantenimiento de todos los equipos eléctricos, hidráulicos, mecánicos y demás accesorios que conforman una estación de bombeo. Las disposiciones establecidas en este capítulo deben cumplirse para los **sistemas** de todos los **niveles de complejidad**, a menos que se indique lo contrario. Cuando la energía hidráulica de la zona en estudio sea demasiado baja para que sus aguas residuales puedan ser evacuadas por gravedad, será necesario dotar a dicha zona de una estación de bombeo. Las estaciones elevadoras de aguas residuales o lluvias son de menor tamaño que las estaciones de bombeo y son necesarias específicamente cuando se requiera elevar el nivel de la línea piezométrica para vencer una diferencia de altura topográfica, siempre que el flujo por gravedad no sea posible.

D.8.2 ESTUDIOS PREVIOS

El diseñador debe efectuar los estudios apropiados antes de llevar a cabo el diseño de la estación, con el fin de determinar las condiciones básicas de operación, fijar la capacidad y establecer el régimen de operación que asegure un funcionamiento óptimo económico.

D.8.2.1 Concepción del proyecto

Los conductos de la red de alcantarillado funcionan a flujo libre por lo que necesitan tener cierta pendiente que permita el drenaje por gravedad, situación que en terrenos planos produce que los conductos se profundicen cada vez más. En consecuencia, las estaciones elevadoras y/o de bombeo surgen como elementos necesarios en áreas con pendientes del terreno muy bajas. En general, las aguas residuales o lluvias son bombeadas para conducir las a lugares distantes, para obtener una cota más elevada y posibilitar su disposición en cuerpos de agua receptores o para reiniciar un nuevo tramo de flujo por gravedad.

Las estaciones elevadoras y/o de bombeo son costosas, y por lo tanto su implementación debe ser decidida luego de estudios completos de alternativas y sólo cuando pueda demostrarse que no es posible o recomendable el flujo por gravedad. La alternativa de bombeo no sólo representa un costo inicial importante, sino que exige gastos de operación y mantenimiento permanentes. En consecuencia, una estación de bombeo debe justificarse desde los puntos de vista técnico y económico.

La concepción del proyecto debe incluir como mínimo los siguientes aspectos:

1. Determinación de las estaciones elevadoras y/o de bombeo existentes, con el fin de determinar si es factible el aprovechamiento de instalaciones antiguas y su posibilidad de ampliación.
2. Relación con los demás componentes del sistema. Deben conocerse el funcionamiento y las reglas de operación de otros componentes del sistema de alcantarillado, con el fin de lograr la compatibilidad de la estación elevadora y/o de bombeo con el resto del sistema, especialmente en lo referente a su capacidad y operación.
3. Los datos geológicos y geotécnicos de la zona del municipio en donde se va a construir el sistema de bombeo.
4. Altura dinámica total requerida por el flujo.
5. Altura neta de succión positiva requerida y disponible (*Net Positive Suction Head – NPSH*)

6. La capacidad requerida de la estación elevadora y/o de bombeo.
7. La energía eléctrica disponible en el sitio de la estación elevadora y/o de bombeo.
8. La energía eléctrica requerida por el sistema de bombeo.
9. Consideraciones urbanísticas y adquisición de predios.
10. Afectación ambiental del proyecto de la estación elevadora y/o de bombeo.
11. Localización estratégica para minimizar vulnerabilidad ante sismos, inundaciones y vandalismo.

D.8.2.2 Aspectos generales de la zona

El diseñador debe conocer todos los aspectos generales de la zona del municipio en la que se desarrollará la estación elevadora y/o de bombeo. Como mínimo el diseñador debe conocer la siguiente información referente a los aspectos generales de la zona:

1. El uso del suelo y la distribución urbanística de la zona cercana a la estación elevadora y/o de bombeo.
2. Los proyectos de infraestructura existentes y por construir como edificaciones cercanas, vías, redes de acueducto y otras redes de servicios públicos.
3. Regímenes de propiedad de los terrenos donde se proyecta la estación elevadora y/o de bombeo; si son propiedad privada, del Estado, Departamento o el Municipio.
4. Sistema de drenaje natural en la zona, cauces, quebradas, etc.
5. El levantamiento topográfico planimétrico de la zona del municipio objeto del diseño.
6. Afectación del medio ambiente por el proyecto.

D.8.2.3 Cantidad de agua a ser bombeada

Para el diseño de la estación elevadora y/o de bombeo se debe conocer el estudio de la demanda de agua para la zona del municipio objeto del diseño de la estación elevadora y/o de bombeo y la información de tipo hidrológica. En caso de que no se disponga de esta información, se debe realizar el estudio teniendo en cuenta lo establecido en los capítulos D.1 y D.2 de este título, para determinar la capacidad actual y futura de la estación de acuerdo con la capacidad de la red de alcantarillado.

D.8.2.4 Calidad del agua a ser bombeada

El diseño debe incluir un estudio de la calidad del agua que va a ser bombeada, teniendo en cuenta sus propiedades físicas y químicas, con el fin de evaluar la vulnerabilidad de las bombas y de los accesorios que entren en contacto con dicha agua. En este caso se debe hacer uso de la información existente en la persona prestadora del servicio público de alcantarillado.

D.8.2.5 Estudios topográficos

Para propósitos de diseño, el diseñador debe recopilar entre otra, la siguiente información topográfica:

1. Realizar el levantamiento topográfico planimétrico y altimétrico de la zona del municipio objeto del diseño o de sus áreas de expansión. Las curvas de nivel deben ser por lo menos cada 50 cm.
2. Planos de catastro de todas las obras de infraestructura existente de la zona del municipio donde se va a proyectar la estación elevadora y/o de bombeo.
3. Los planos de catastro o inventario de las redes que tengan relación con la estación elevadora y/o de bombeo objeto del diseño.
4. Fotografías aéreas existentes para la zona del municipio objeto del diseño, que incluyan claramente la zona donde va a diseñarse la estación elevadora y/o de bombeo.
5. Planos aerofotogramétricos de la zona del municipio donde va a diseñarse la estación elevadora y/o de bombeo para **sistemas con nivel de complejidad alto**.

Los planos deben realizarse a una escala de 1:200. En todos los casos se deben hacer levantamientos reales en campo, con propósitos de verificación.

D.8.2.6 Estudio de suelos

Deben conocerse las propiedades del suelo en el sitio de la estación, por medio de un estudio de suelos característico del desarrollo de obras civiles. Además, se debe seguir lo establecido en el capítulo G.2 del

Título G del RAS: “*Aspectos Complementarios*”. También se debe contar con la participación de un especialista en geotecnia que indique los estudios adicionales que se deben realizar para el diseño de la estación de bombeo.

D.8.2.7 Condiciones geológicas

El diseñador debe conocer todas las condiciones geológicas y las características del subsuelo en las zonas donde se proyectará la estación elevadora y/o de bombeo. 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. Se deben evitar alternativas de diseño en zonas claramente identificadas como zonas de deslizamiento.

El diseñador debe conocer específicamente el nivel de amenaza sísmica de la zona donde se proyectará la estación. En particular debe tenerse en cuenta lo establecido en la *Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR98 y NSR-10*, en lo pertinente, o aquellas que las modifiquen o sustituyan, con respecto a los niveles de amenaza sísmica en todo el territorio nacional.

D.8.2.8 Infraestructura existente

Para el proceso de diseño deben identificarse las principales obras de infraestructura construidas dentro de la zona de influencia de la estación elevadora y/o de bombeo que se va a desarrollar, tales como urbanizaciones y edificaciones cercanas, vías, sistemas de acueducto y de alcantarillado, y redes de otros servicios públicos, tales como energía, gas, teléfonos, etc.

D.8.2.9 Disponibilidad de energía eléctrica

En el diseño se deben estudiar las condiciones para el suministro de energía eléctrica, incluyendo la capacidad de la red de energía eléctrica en la zona en donde se construirá la estación elevadora y/o de bombeo, la demanda de energía de la estación elevadora y/o de bombeo, la frecuencia de interrupciones en el servicio de energía, el sitio más cercano para tomar la energía, el voltaje, el ciclaje y el costo del kilovatio-hora.

Además, debe considerarse la posibilidad de utilizar varios tipos de energía incluidos gas, diésel o solar, entre otros. En el diseño se debe incluir el estudio del posible uso de una generación propia de energía eléctrica de la estación elevadora y/o de bombeo siempre y cuando ésta resulte como la alternativa más económica. En los **sistemas con niveles de complejidad medio alto y alto** debe contarse con una fuente alternativa de energía disponible permanentemente para casos de emergencia.

D.8.3 CONDICIONES GENERALES

La estación elevadora y/o de bombeo debe cumplir con ciertas características y condiciones básicas, las cuales se describen a continuación.

D.8.3.1 Localización y seguridad

En el diseño de la estación elevadora y/o de bombeo se debe asegurar que ésta se ubique en un sitio estable con respecto a fenómenos erosivos, fenómenos de deslizamientos o fallas de taludes, y, en general fenómenos de movimiento de suelos causados por fallas geológicas. También se debe asegurar que la estación elevadora y/o de bombeo no se vea afectada por la calidad del agua que circula por ella.

En especial, deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. En la zona de proyección de la estación elevadora y/o de bombeo debe haber estabilidad geotécnica del terreno, además se debe escoger el sitio donde se requiera un menor movimiento de tierra para su construcción. Se debe tener facilidad de suministro de energía eléctrica y disponibilidad de otros servicios (agua potable, teléfonos, etc.).
2. En la localización de la estación, se debe tener en cuenta la altura entre el punto de succión y el punto de bombeo, el trayecto más corto de la tubería de bombeo (impulsión) y, la factibilidad de ampliación y adquisición de predios adyacentes para satisfacer necesidades futuras.

3. Durante la operación normal de la estación elevadora y/o de bombeo no deben presentarse inundaciones, para lo cual la edificación debe contar con los drenajes pertinentes. En el caso en que exista un pozo de succión, éste debe incluir un nivel de protección contra excesos de caudal provenientes de la red de alcantarillado, causados por fallas en los sistemas de control, y eventualmente por fallas en la evacuación del caudal. La estación debe estar protegida para un período de retorno de 50 años.
4. En el caso de que la estación elevadora y/o de bombeo cuente con una subestación eléctrica, en el diseño se debe incluir un pararrayos con las conexiones adecuadas a tierra con el fin de proteger los equipos.
5. En el diseño de la estación elevadora y/o de bombeo se deben incluir los dispositivos necesarios para extinguir incendios, ubicados en los lugares establecidos por el diseñador y los cuales deben estar perfectamente señalizados.
6. En el diseño se deben tener en cuenta todas las medidas de seguridad necesarias para evitar el acceso de personas extrañas, diferentes a aquellas encargadas de la operación y mantenimiento, mediante los cerramientos apropiados.
7. En el diseño se debe tener en cuenta la facilidad de vertimientos de aguas residuales o lluvias en condiciones eventuales e interrupción de bombeo.
8. Se debe incluir un esquema apropiado para el manejo y el control de los olores, dando cumplimiento a lo establecido en la Resolución 601 de 2006 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial o aquella que la modifique o sustituya.

D.8.3.2 Facilidad de acceso para el mantenimiento

En el diseño de la estación elevadora y/o de bombeo, se deben dejar los accesos necesarios para efectuar las labores de mantenimiento; en particular se deben tener en cuenta todos aquellos aspectos necesarios para la movilización de los equipos electromecánicos tales como puertas de acceso, rampas, puente grúas, etc. Por otro lado, se debe propender porque las labores de mantenimiento de la estación elevadora y/o de bombeo no afecten la operación del sistema de alcantarillado.

D.8.3.3 Vulnerabilidad y riesgo

Con propósitos de diseño de estaciones elevadoras y/o de bombeo, es necesario conocer el nivel de amenaza sísmica de la zona en la cual se construirá la estación. Se debe tener en cuenta todo lo establecido en la *Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR98 y NSR-10*, en lo pertinente, o aquellas que las modifiquen o sustituyan, con respecto a los niveles de amenaza sísmica en las diferentes zonas del territorio nacional.

Con el fin de disminuir la vulnerabilidad frente a fenómenos sísmicos, los materiales de tuberías y de sus accesorios, deben estar diseñados para soportar los esfuerzos de tensión y corte generados por el sismo de diseño.

Las estaciones elevadoras y/o de bombeo son vulnerables a la deformación del suelo causada por problemas geotécnicos, geológicos y/o topográficos. En el diseño se debe establecer el nivel de vulnerabilidad. En caso de que por razones geológicas, topográficas, sísmicas o cualquier otro tipo de factor se considere que la estación elevadora y/o de bombeo tiene una alta vulnerabilidad, en el diseño se debe tener en cuenta su fácil y rápida reparación en caso de daños.

D.8.3.4 Análisis de costo mínimo

Deben considerarse las facilidades técnicas para una posible ampliación futura. Deben definirse mediante la evaluación económica de alternativas el número de bombas, el tipo de bombas y la capacidad estimada de la estación. Además, debe preverse en la evaluación por etapas el espacio suficiente para la colocación futura de bombas y/o la ampliación de la casa de máquinas. Para todos los **sistemas**, a excepción de los **sistemas con nivel de complejidad bajo**, el período óptimo de diseño de la primera etapa de desarrollo del proyecto seleccionado debe realizarse mediante un análisis de costo mínimo, según lo establecido en el Título A del RAS: "*Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico*". El análisis debe realizarse teniendo en cuenta los costos de inversión inicial, de operación y de mantenimiento, las economías de escala y la tasa de descuento. La estación debe tener el

menor costo posible de operación y, las bombas, de operar con una eficiencia cercana a la máxima posible.

D.8.3.5 Factibilidad de ampliación

Deben considerarse las facilidades técnicas para una posible ampliación. Deben definirse las etapas de expansión, indicando en cada una el número de bombas, el tipo de bombas y la capacidad estimada de la estación. Además, debe disponerse del espacio suficiente para la colocación futura de bombas y/o la ampliación de la casa de máquinas. En los **sistemas** de todos los **niveles de complejidad**, debe evaluarse la factibilidad de su ampliación. En los **sistemas con niveles de complejidad medio alto y alto** debe hacerse un análisis de costo mínimo de expansión de capacidad, según lo establecido en el capítulo A.8 del Título A del RAS: “*Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico*”.

La estación debe tener el menor costo posible de operación y las bombas deben operar con una eficiencia cercana a la máxima posible. Dentro del análisis deben tenerse en cuenta los costos iniciales de inversión, así como los costos de operación y de mantenimiento.

D.8.4 PARÁMETROS DE DISEÑO

D.8.4.1 Período de diseño

Las estaciones elevadoras y/o de bombeo de los sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales y/o lluvias deben proyectarse para 30 años en el caso de **sistemas con nivel de complejidad alto** y de 25 años para los demás **sistemas**.

D.8.4.2 Caudal de diseño

Para determinar la capacidad de la estación elevadora y/o de bombeo, el diseñador debe tener en cuenta el caudal medio diario, el caudal máximo horario y los caudales máximos y mínimos en las condiciones iniciales y finales de operación de la estación, a lo largo del período de diseño. En el caso de que por la estación se transporten aguas lluvias, se debe considerar la implementación de lagunas de mitigación o depósitos de agua (pondajes) teniendo en cuenta los caudales de bombeo y haciendo un análisis de costo mínimo, en especial para los **sistemas con niveles de complejidad medio alto y alto**.

D.8.4.3 Conducto de entrada a la estación

Se deben conocer las características del tramo (colector, interceptor o emisario afluente) aguas arriba de la estación elevadora y/o de bombeo. Específicamente, el diseñador debe conocer la forma, material, dimensiones, cota de batea del conducto en la entrada a la estación, cota máxima de agua en la entrada de la estación y diferencia de altura entre la succión y la descarga.

D.8.4.4 Materiales

D.8.4.4.1 Materiales de las bombas

Los materiales de las bombas incluyendo sus impulsores, sus carcasas y otros componentes, deben ser seleccionados de acuerdo con las características del agua que va a bombearse y teniendo en cuenta la temperatura, conductividad, sólidos en suspensión y capacidad de corrosión del agua.

El material de las bombas y de los diferentes componentes deben resistir los efectos de corrosión que el agua pueda causar en ellos. Se pueden utilizar materiales como: hierro fundido, acero inoxidable, acero al carbón, acero fundido y hierro dúctil. Para los accesorios de la bomba se puede usar latón y bronce. Todos los materiales utilizados deben estar certificados por normas técnicas nacionales o internacionales para su uso en aplicaciones de aguas residuales.

D.8.4.4.2 Materiales de las tuberías y accesorios

Los materiales que se pueden utilizar para las tuberías de succión y de impulsión en las estaciones elevadoras y/o de bombeo son los siguientes: hierro dúctil (HD), polivinilo de cloruro (PVC), polivinilo de cloruro molecularmente orientado (PVCO) polietileno de alta densidad (PEAD), poliéster reforzado con

fibra de vidrio (GRP), acero, concreto reforzado con o sin cilindro de acero (CCP). En la Tabla D.2.2 del literal D.2.7.11 se incluyen las características de los materiales de las tuberías y en la Tabla D.2.4 las normas técnicas respectivas. El material de los diferentes componentes de las tuberías y accesorios deben resistir los efectos nocivos que el agua pueda causar en ellos.

D.8.4.5 Número de bombas

La estación de bombeo puede estar conformada por varias bombas. Usualmente, éstas operan en paralelo, en el caso de aguas residuales y lluvias. Debe procurarse que las bombas sean del mismo tipo y capacidad, y guardar similitud con equipos existentes. Otros criterios de selección son economía, facilidad de operación, disponibilidad en el mercado y soporte técnico.

Para establecer el número de bombas, pueden seguirse las siguientes pautas:

1. Debido a que el caudal máximo no se presenta en la etapa inicial, deben seleccionarse bombas iguales que se irán instalando de acuerdo con los requerimientos de las diferentes etapas.
2. En el caso de bombas pequeñas, deben instalarse como mínimo dos unidades, cada una con capacidad para bombear el caudal máximo, quedando la segunda como reserva.
3. En estaciones mayores debe ser prevista, además de las unidades necesarias para el caudal máximo, por lo menos una bomba con capacidad igual a la mayor de las bombas instaladas, como reserva.
4. En la selección de las unidades de bombeo deben observarse cuidadosamente las recomendaciones técnicas (curvas características) y operativas de los fabricantes.

El número de bombas por colocar en la estación debe definirse de acuerdo con la capacidad requerida y la energía disponible, según las siguientes disposiciones:

1. En **sistemas con nivel de complejidad bajo** deben colocarse dos bombas, cada una con una capacidad igual a la capacidad requerida.
2. En **sistemas con nivel de complejidad medio** debe colocarse un mínimo de dos bombas. Cuando se utilicen únicamente dos bombas, cada una de ellas debe tener una capacidad igual al caudal de diseño de la estación.
3. En **sistemas con niveles de complejidad medio alto y alto** el número de bombas debe ser determinado por el análisis de costo mínimo, colocando un mínimo de dos bombas. Cuando se utilicen únicamente dos bombas, cada una de ellas debe tener una capacidad igual al caudal de diseño de la estación.
4. En todos los **sistemas**, cuando el número de bombas sea mayor que dos, la capacidad debe distribuirse equitativamente entre ellas. Además, deben preverse unidades de reserva del mismo tipo.
5. En todos los **sistemas** que requieran tres o más bombas, debe colocarse una unidad adicional como reserva por cada tres bombas empleadas.

D.8.4.6 Tipo de bombas

En una estación elevadora y/o de bombeo se pueden utilizar bombas helicoidales, centrífugas y eyectoras. Las bombas centrífugas son las más comunes y apropiadas cuando las alturas de bombeo son mayores a 10 m. En general, el comportamiento hidráulico de este tipo de bombas es similar al de las utilizadas para bombeo de agua potable. En este grupo se encuentran las bombas sumergibles las cuales se utilizan en aquellos casos en que se desea eliminar la utilización de pozos secos.

Las bombas helicoidales están basadas en el tornillo de Arquímedes y funcionan al aire libre. La altura de bombeo o elevación del agua corresponde a la diferencia de nivel entre los dos extremos del tornillo, en su posición de operación, generalmente inclinada. Este tipo de bombas se recomienda cuando la altura a la que se requiere elevar el agua es más pequeña que los otros tipos de bomba.

Las bombas eyectoras tienen la capacidad de bombear aguas residuales y/o lluvias sin ningún tipo de filtración o cribado previo. Funcionan con un sensor de nivel que inyecta aire, el cual impulsa el agua. Se recomiendan para caudales bajos de bombeo. Desde la etapa de diseño, las bombas deben seleccionarse de forma tal que se obtengan la capacidad y la altura dinámica requeridas, establecidas por

el punto de operación al considerar las curvas características del sistema de bombeo y del sistema de tuberías de impulsión.

El dimensionamiento y la selección del tipo de bombas debe hacerse en conjunto con el sistema de succión e impulsión, buscando siempre la condición de costo mínimo, incluyendo los costos iniciales, los costos de construcción, de operación, de expansión y de mantenimiento, siguiendo lo establecido en el análisis de generación de alternativas descrito en el literal D.8.5.1 de este título. Adicionalmente deben tenerse en cuenta las normas técnicas NTC 1775 y la norma AWWA E 101. en el diseño se deben tener en cuenta los siguientes criterios para la selección del tipo de bombas:

1. Características fisicoquímicas del agua que va a ser bombeada.
2. El espacio requerido para la instalación de las bombas dentro de la estación elevadora y/o de bombeo.
3. La forma de operación prevista de las bombas, en serie o en paralelo.
4. La variación en los niveles máximo y mínimo en el pozo de succión y en la descarga.
5. La variación de los caudales bajo las diferentes condiciones de operación hidráulica de la estación elevadora y/o de bombeo.
6. El tiempo de operación de las bombas.
7. La compatibilidad con otros equipos de bombeo existentes en el municipio.
8. El nivel del ruido generado por la operación de las bombas.

D.8.4.7 Pozo de succión

El pozo de succión es el compartimiento destinado a recibir y acumular las aguas residuales durante un determinado período. El dimensionamiento y la utilización de controles de nivel permiten el correcto manejo de las aguas afluentes. El tiempo de permanencia del agua dentro del pozo no debe ser muy largo puesto que pueden generarse malos olores y gases, sobre todo en el caso de aguas residuales, y la acumulación de lodos en el fondo del pozo.

D.8.4.7.1 Dimensionamiento del pozo de succión

En caso de que se tenga un pozo de succión, éste se debe diseñar con una capacidad igual o superior a la suma de los caudales de diseño de las bombas. La cantidad de almacenamiento que requiere la estación elevadora o de bombeo se determina a través de la comparación de los caudales de entrada de aguas residuales y/o lluvias con respecto a la capacidad de descarga del sistema de bombeo. El sistema de bombeo debe proporcionar un número de ciclos que garanticen una operación segura. El volumen requerido para asegurar que el número de arranques por hora no sean excedidos está determinado por la siguiente ecuación:

$$Vol_{min} = 15 \times Q_p \times t \quad (D.8.1)$$

donde:

Vol_{min} = Volumen mínimo requerido del pozo de succión con respecto al número de ciclos (m^3).

Q_p = Caudal de diseño de bombeo (m^3/s).

t = Tiempo mínimo de un ciclo (min).

La ecuación anterior es válida para cualquier número de bombas de igual tamaño. El volumen calculado debe estar disponible entre el nivel de arranque y el nivel de apagado de cada una de las bombas utilizadas. El tiempo de ciclo para la primera bomba es mínimo cuando el caudal de entrada iguala a la mitad de la capacidad de la bomba. El tiempo de ciclo para la segunda bomba es mínimo cuando el caudal de entrada es igual que 1,5 veces la capacidad individual de las bombas, es 2,5 veces la capacidad individual para la tercera bomba y así sucesivamente.

En cuanto a la forma del pozo, deben seguirse las siguientes recomendaciones:

1. La entrada de agua al pozo no debe producir turbulencias, para lo cual se recomienda hacerla por medio de compuertas o conductos sumergidos.

2. La forma y dimensiones del pozo no pueden interferir con el buen funcionamiento de las bombas. Se deben seguir las recomendaciones de los fabricantes de estas.
3. Debe evitarse la formación de vórtices.
4. El pozo no debe tener cambios geométricos pronunciados, cambios bruscos de dirección del flujo, pendientes pronunciadas o formas rápidamente divergentes.
5. En el diseño se debe prever un espacio para la instalación y montaje de los equipos de bombeo y sus tuberías de succión, así como para las futuras labores de inspección y mantenimiento.
6. La entrada de agua al pozo debe estar por debajo del nivel de agua en la tubería de succión.
7. La distribución de velocidades de flujo de entrada a cada bomba debe ser lo más uniforme posible.
8. Se recomienda que el tiempo de permanencia del agua dentro del pozo debe ser corto, menor o igual a 30 minutos, para evitar la generación de gases y la acumulación de lodos.
9. En caso de operación intermitente de la bomba, se recomienda un máximo de 3 a 5 arranques por hora en bombas horizontales y verticales. Para bombas sumergibles el número permitido de arranques por hora es 10. El tiempo recomendable de un ciclo de bombeo debe estar entre 10 y 20 minutos y el ciclo de operación no debe ser menor a 5 minutos.
10. El volumen del pozo depende de las reglas de operación que se establezcan. Si la bomba puede bombear a una tasa similar al caudal de entrada (velocidad variable), el almacenamiento requerido en el pozo húmedo es menor que si se tiene una tasa de bombeo constante.
11. El fondo del pozo debe tener una inclinación mínima de 45° hacia la boca de succión, y el ancho mínimo deber estar alrededor de 1,5 m.
12. En caso de utilizar bombas sumergibles, estas deben ser fácilmente removibles y reemplazables sin que se necesite la entrada de personal en el pozo húmedo. Para esto se requiere la utilización de equipos que levanten el sistema por fuera del nivel de aguas residuales y/o lluvias para luego ejecutar el mantenimiento o reemplazo.

El pozo húmedo puede tener dispositivos adicionales como compuertas y desvíos para controlar el flujo afluente. De esta manera es factible aislar la estación y verter el afluente a un curso de agua receptor cuando exista la necesidad. Estos elementos son necesarios en estaciones medianas y grandes, recomendándose la automatización de las compuertas en estas últimas. En los **sistemas con nivel de complejidad alto** es obligatorio disponer de mediciones telemétricas para su control.

D.8.4.7.2 Sumergencia de las bombas

La sumergencia mínima de la tubería de succión debe ser mayor que dos veces su diámetro pero nunca inferior a 0,5 m. En el caso de bombas de tornillo, por lo menos los tres primeros pasos de la hélice deben estar siempre sumergidos en la entrada al sistema.

D.8.4.7.3 Distancia entre el fondo y/o paredes y la boca de la tubería de succión

La distancia entre el fondo y/o paredes del pozo de succión y la boca de la tubería de succión debe estar entre 0,5 y 1,5 veces el diámetro de la tubería de succión, pero no puede ser inferior a 0,25 m.

D.8.4.7.4 Velocidad de entrada

La velocidad de entrada al pozo de succión no debe ser mayor a 0,7 m/s. Se recomienda tener una velocidad de 0,5 m/s para las condiciones normales de operación.

D.8.4.7.5 Dispositivos complementarios

El pozo de succión debe contar con las tuberías y válvulas necesarias para su drenaje, eventualmente por bombeo. En el diseño se debe contemplar siempre un vertedero de exceso de agua en el pozo de succión. Se deben seguir las indicaciones de los fabricantes de estos equipos.

D.8.4.8 Tuberías de succión e impulsión

D.8.4.8.1 Diámetros de tuberías de succión e impulsión

La selección del diámetro de las tuberías de succión e impulsión en una estación elevadora y/o de bombeo debe obedecer al análisis económico comparativo en el cual se analice el costo de la energía de bombeo con respecto al costo de la tubería y el sistema de bombeo. En este caso el evaluador puede

hacer uso de programas comerciales. Sin embargo, los diámetros de las tuberías de succión y de impulsión no pueden ser menores que los admitidos por el equipo de bombeo. En el diseño se debe recomendar que el diámetro de la tubería de succión sea mayor que el de la tubería de impulsión en por lo menos 50 mm. El diámetro mínimo de la tubería de succión es 100 mm.

En caso de que el diámetro de la tubería de succión sea mayor que el de admisión de la bomba, debe ponerse una reducción excéntrica con su parte superior horizontal.

D.8.4.8.2 Velocidades en tuberías de succión

La velocidad mínima en las tuberías de succión debe ser 0,45 m/s. La velocidad máxima en tuberías de succión depende del diámetro, y debe establecerse teniendo en cuenta el cálculo de la altura neta de succión positiva (NPSH). También se debe seguir lo establecido en la Tabla D.8.1 mostrada a continuación:

Tabla D.8.1 Velocidad máxima aceptable en la tubería de succión, según el diámetro

Diámetro de la tubería de succión	Velocidad máxima
50 mm	0.75 m/s
75 mm	1.00 m/s
100 mm	1.30 m/s
150 mm	1.45 m/s
200 mm	1.60 m/s
250 mm	1.60 m/s
300 mm	1.70 m/s
Mayor a 300 mm	1.80 m/s

D.8.4.8.3 Velocidades en tuberías de impulsión

La velocidad mínima en las tuberías de impulsión debe ser 1,0 m/s.

La velocidad máxima en las tuberías de impulsión debe ser menor que 6 m/s. Sin embargo, esta velocidad máxima debe estar justificada por un análisis de generación de alternativas, tal como lo establecido en el literal D.8.5.1 de este título.

D.8.4.9 Instalación de tuberías en estaciones elevadoras y de bombeo

Desde la etapa de diseño deben analizarse todas las condiciones de instalación de las tuberías, especialmente la protección que deben tener para mitigar el efecto que tiene el agua residual sobre estas. En especial deben analizarse los siguientes aspectos correspondientes a las tuberías en una estación elevadora y/o de bombeo de agua residual:

1. La instalación de tuberías en tramos con pendientes acentuadas, alrededor de 20° o mayores.
2. La instalación de la tubería en pasos sobre ríos, quebradas o cañadas sujetos a inundaciones o caudales que puedan causar la erosión del recubrimiento de la tubería.
3. En aquellos casos en que la instalación de la tubería de succión y/o impulsión sea a una profundidad menor a la establecida en los literales D.3.3.11 y D.4.3.8 de este título, se deben proteger las tuberías debido a la circulación de vehículos que puedan causar daños.
4. En la instalación de la tubería en áreas sujetas a inundaciones, en el diseño se debe evitar la posibilidad de que la tubería flote, principalmente cuando por razones de mantenimiento o razones de emergencia no esté llena de agua, recomendando anclajes para evitar problemas de flotación donde sea necesario.
5. En general, la instalación de tuberías debe realizarse siguiendo lo establecido en el capítulo G.4 del Título G del RAS "Aspectos Complementarios". En particular, se deben seguir los procedimientos de instalación y conexión de tuberías de acero, de PVC, de polietileno, de concreto u otras tuberías al igual que la instalación especial de accesorios como válvulas, estructuras de disipación de energía, etc.

D.8.4.10 Distancias a otras redes

Con respecto a las distancias mínimas entre las tuberías de succión y las de impulsión a otras redes de servicios públicos, se debe seguir lo establecido en el literal D.2.7.4 de este título.

D.8.4.11 Sala de bombas

En el diseño de la sala de bombas se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

1. El tamaño de la sala debe ser suficiente para alojar el conjunto o los conjuntos bomba-motor y los equipos de montaje. Las dimensiones deben ser tales que haya facilidad de circulación, montaje y desmontaje de los equipos, y dado el caso el movimiento de todas las unidades de bombeo.
2. Las dimensiones de la sala de bombas deben ser compatibles con las del pozo de succión con el fin de asegurar una adecuada distribución de la obra civil buscando al mismo tiempo minimizar los costos.

D.8.4.12 Generación y control de ruido

El diseño de la estación elevadora y/o de bombeo debe cumplir con lo establecido en la norma de inmisión de ruido, Resolución 8321 de 1986 y en la de emisión de ruido o ruido ambiental, Resolución 627 de 2006, o las normas que las modifiquen o sustituyan, del Ministerio de de Salud y el de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial respectivamente.

D.8.4.13 Control de tamaño de sólidos y rejillas de limpieza

Los sólidos en el agua residual afluyente, que puedan perjudicar el funcionamiento de las bombas, deben ser removidos antes que las aguas lleguen al pozo húmedo, mediante rejillas de limpieza. Estas deben ser instaladas al final de los conductos afluentes, inmediatamente aguas arriba del pozo húmedo. La separación máxima entre las varillas debe ser 50 mm. Dependiendo del tamaño de la estación y la cantidad de sólidos que se vayan a retener, la limpieza de las rejillas puede hacerse desde operación manual hasta mecanizada y automatizada. La primera puede ser apropiada para los **sistemas con niveles de complejidad medio y bajo**, mientras que la segunda es recomendable para **sistemas con nivel de complejidad medio alto** y necesaria para **sistemas con nivel de complejidad alto**. Cuando el tamaño, densidad y cantidad de sólidos así lo exijan, debe proveerse un triturador. Los sólidos removidos deben disponerse de manera apropiada para minimizar impactos negativos al ambiente.

D.8.5 DISEÑO DE LAS ESTACIONES ELEVADORAS Y/O DE BOMBEO

D.8.5.1 Generación de alternativas

Siempre que se diseña una estación elevadora y/o de bombeo, existen varias alternativas que involucran combinaciones del tipo de bombas, potencias de bombas, diámetro de las tuberías de impulsión y material de tubería impulsión, las cuales cumplen con las condiciones hidráulicas de caudal de bombeo y altura estática entre los tanques aguas arriba (succión) y aguas abajo (descarga). Por consiguiente, en el diseño de la estación elevadora y/o de bombeo se debe buscar la alternativa óptima económica de combinación de los diferentes diámetros y materiales de tubería de impulsión, potencia de las bombas y consumo de energía de éstas a lo largo del período de diseño, que cumpla con todas las restricciones hidráulicas. Entre las alternativas que se deben tener en cuenta, se debe analizar la posibilidad de utilizar bombas sumergibles y eliminar la utilización de pozos secos.

En la evaluación de alternativas se debe seleccionar el conjunto de materiales, que cumplan con las especificaciones técnicas del proyecto, establecidas en el literal D.8.4.4.2 para tuberías y en el literal D.8.4.4.1 para bombas y el cálculo del diámetro de cada alternativa debe seguir lo establecido en el literal D.8.5.2.1 de este título. Las alternativas deben basarse en criterios hidráulicos y deben ser evaluadas dentro de un proceso de optimización financiera que permita escoger aquella de menor costo de inversión inicial y de operación y mantenimiento, la cual debe ser objeto del diseño definitivo. En particular, en el diseño se debe asegurar que bajo las diferentes formas de operación, las bombas y motores operen en puntos cercanos a su eficiencia máxima.

Para obtener el diseño óptimo económico que cumpla con las restricciones hidráulicas, se podrá utilizar cualquier programa comercial de análisis de redes que incluya rutinas de diseño optimizado incluyendo los costos de materiales, los costos de instalación y los costos de operación y mantenimiento a lo largo del período de diseño del proyecto.

D.8.5.2 Tuberías de succión e impulsión

D.8.5.2.1 Diámetros de las tuberías

Para predefinir el diámetro más económico de las tuberías de impulsión y descarga de una estación de bombeo, se debe hacer uso de la siguiente ecuación:

$$De = 1.2 \left(\frac{t}{24} \right)^{0.25} \sqrt{Q} \quad (D.8.2)$$

donde:

De = Diámetro real interno de la tubería utilizada (m).

t = Número de horas de bombeo por día (h).

Q = Caudal de bombeo (m³/s).

El diámetro definitivo de las tuberías de impulsión en una estación de bombeo debe obedecer al análisis económico de las alternativas generadas, utilizando un programa de computador en el cual se analice el costo de la energía de bombeo versus el costo de la tubería y el sistema aguas abajo de la bomba.

D.8.5.2.2 Corrosión en tuberías

Con respecto a las tuberías de succión e impulsión conformadas por materiales metálicos, ninguna parte metálica del sistema debe estar en contacto directo con el agua. En el caso de tuberías de acero se deben utilizar recubrimientos internos y externos en mortero, como se indica en los literales D.8.5.2.3 y D.8.5.2.4 de este título. En el caso de tuberías con diámetros inferiores a 300 mm se deben utilizar pinturas epóxicas al interior de la tubería. En caso de que económicamente sea posible utilizar la alternativa de aceros inoxidable, ésta es la mejor opción. Todas las protecciones contra la corrosión, tanto interna como externa, en las tuberías de impulsión y/o succión deben cumplir con lo estipulado en las normas AWWA, DIN e ISO.

Adicionalmente, los materiales y recubrimientos que conformen los diferentes accesorios de las tuberías de succión y descarga, y las bombas en sí, deben ser resistentes a la corrosión. Si el acero es el material seleccionado como única opción, se debe buscar que sea inoxidable.

D.8.5.2.3 Recubrimientos externos y protección de tuberías

El diseño de las tuberías que formen parte de una aducción a presión o de una conducción debe incluir un análisis sobre el recubrimiento externo y la protección de las tuberías.

Los revestimientos de las tuberías pueden ser: polietileno o polipropileno, resina epóxica, mortero de cemento, etc. En caso de que estos sistemas incluyan tuberías de acero, se recomienda el uso de recubrimientos con mortero. Las tuberías metálicas, con excepción de las de hierro dúctil, deben tener continuidad eléctrica y estaciones de medición según lo establecido en el manual AWWA M27 "*External corrosion – Introduction to Chemistry and Control*". Las tuberías de hierro dúctil deben encapsularse en mangas de polietileno para aislarlas de las corrientes eléctricas parásitas, siguiendo lo establecido en la norma técnica colombiana NTC 3819 y el manual AWWA M27. En el diseño de los recubrimientos se debe tener en cuenta todo lo establecido en el Reglamento Técnico de Tuberías, Resoluciones 1166 de 2006 y 1127 de 2007 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial o las normas que las modifiquen o sustituyan.

Para los **sistemas** de todos los **niveles de complejidad**, la persona prestadora del servicio público de alcantarillado debe aprobar los recubrimientos externos contenidos en la red de conducciones. Las siguientes normas contenidas en la Tabla D.8.2 describen algunos recubrimientos externos para diferentes materiales de tuberías aprobados por normas internacionales y normas colombianas.

Tabla D.8.2 Normas para recubrimientos externos en tuberías

NORMA	NOMBRE
ASTM 849	<i>Post applied coatings, pavings and linings for corrugated steel sewer and drainage pipe.</i>
ASTM 979	<i>Concrete pavements and linings installed in corrugated steel</i>

NORMA	NOMBRE
	<i>structures in the field.</i>
AWWA C 205	<i>Cement-Mortar Protective Lining and Coating for Steel Water Pipe 4 In. (100 mm) and Larger.</i>
AWWA C 210	<i>Standard for Liquid-Epoxy Coating Systems for the Interior and Exterior of Steel Water Pipelines.</i>
AWWA M 9	<i>Concrete Pressure Pipe.</i>
AWWA M 11	<i>Steel Water Pipe: A Guide for Design and Installation</i>
AWWA M 27	<i>External Corrosion - Introduction to Chemistry And Control</i>
AWWA M 41	<i>Ductile-Iron Pipe and Fittings</i>
AWWA C105/A 21.5	<i>Polyethylene Encasement for Ductile-Iron Pipe Systems</i>
DIN 30675-2	<i>External corrosion protection of buried pipes; corrosion protection systems for ductile iron pipes</i>
DIN 30678	<i>Polypropylene coatings for steel pipes</i>
NTC 747	Tubos de concreto para presión, tipo cilindro de acero con refuerzo de varilla.
NTC 3818	Tubería metálica. Recubrimiento epóxico con adherencia mediante fusión para aplicación externa sobre tubería de acero
NTC 3819	Tubería metálica. Recubrimiento de polietileno para tubería metálica
NTC 4326	Tubos de acero. Recubrimiento externo con triple capa a base de polipropileno. Aplicación por extrusión.
NTC 4937 – 1	Tubería de hierro dúctil. Revestimiento exterior de zinc. Parte 1: zinc metálico con capa de acabado.
NTC 4937 – 2	Tubería de hierro dúctil. Recubrimiento exterior de zinc. Parte 2: Pintura rica en zinc con capa de acabado.

D.8.5.2.4 Recubrimientos internos

En el diseño de las tuberías que formen parte de una succión o una impulsión se debe realizar un análisis sobre el recubrimiento interno y la protección de las tuberías.

En tuberías de acero se recomienda el uso de recubrimientos internos con mortero. En el caso de tuberías con diámetros inferiores a 300 mm, se debe utilizar pintura epóxica. El diseño de los recubrimientos debe tener en cuenta todo lo establecido en el Reglamento Técnico de Tuberías, Resolución 1166 de 2006 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, o aquella que la reemplace. En la Tabla D.8.3 se muestran algunas de las protecciones internas aprobadas internacionalmente y en Colombia para la protección de las tuberías:

Tabla D.8.3 Normas para recubrimientos internos en tuberías

NORMA	NOMBRE
AWWA C104	<i>Cement-Mortar Lining for Ductile-Iron Pipe and Fittings for Water</i>
AWWA C105	<i>Polyethylene Encasement for Ductile-Iron Pipe Systems</i>
AWWA C116	<i>Protective Fusion-Bonded Epoxy Coatings Int. & Ext. Surf. Ductile-Iron/Gray-Iron Fittings</i>
AWWA C 205	<i>Cement-Mortar Protective Lining and Coating for Steel Water Pipe 4 In. (100 mm) and Larger.</i>
AWWA C 210	<i>Standard for Liquid-Epoxy Coating Systems for the Interior and Exterior of Steel Water Pipelines.</i>
AWWA M 9	<i>Concrete Pressure Pipe.</i>
AWWA M 11	<i>Steel Water Pipe: A Guide for Design and Installation</i>
AWWA D104	<i>Automatically Controlled, Impressed-Current Cathodic Protection for the Interior of Steel Water Tanks</i>
AWWA C550	<i>Protective Epoxy Interior Coatings for Valves and Hydrants</i>
NTC 2629	Tubería de Hierro dúctil. Revestimiento de Mortero-Cemento Centrifugado. Controles de Composición del Mortero Recientemente Aplicado.
NTC 4777	Recubrimientos protectores epóxicos interiores para válvulas e hidrantes.
AWWA C 205	<i>Cement-Mortar Protective Lining and Coating for Steel Water Pipe 4 In. (100 mm) and Larger.</i>

D.8.5.3 Bombas centrífugas y bombas eyectoras

En este literal se presentan los aspectos de diseño que el diseñador debe tener en cuenta cuando el tipo de bombas que se utilicen sean centrífugas y/o eyectoras.

D.8.5.3.1 Potencia

La potencia requerida por la bomba debe ser la suficiente para obtener la capacidad del sistema bajo la condición de caudal máximo de operación. Esta potencia se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$P = \frac{Q \times \gamma \times H}{\eta} \quad (\text{D.8.3})$$

donde:

P = Potencia requerida por la bomba (W).

Q = Caudal de operación (m³/s).

γ = Peso específico del agua (N/m³).

H = Altura total de bombeo incluyendo la altura topográfica, las pérdidas por fricción y las pérdidas menores existentes en las tuberías de impulsión (m).

η = Eficiencia del bombeo (adimensional).

D.8.5.3.2 Altura piezométrica neta de succión positiva (NPSH)

La altura neta de succión positiva disponible se debe calcular de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$NPSH_{disp} = \frac{P_{atm}}{\rho g} + H_{es} - h_f - \frac{P_v}{\rho g} \quad (\text{D.8.4})$$

donde,

$NPSH_{disp}$ = Altura neta de succión positiva disponible (m).

P_{atm} = Presión atmosférica (Pa).

H_{es} = Altura estática de succión (incluyendo su signo) (m).

h_f = Pérdidas por fricción (m).

P_v = Presión de vapor (Pa).

ρ = Densidad del agua residual (kg/m³).

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

La altura neta de succión positiva requerida por el fabricante debe ser menor que el valor disponible en la instalación en por lo menos un 20%, para las condiciones más adversas de operación. En ningún caso la diferencia puede ser menor a 0,5 m. Para todos los caudales previstos debe verificarse que no ocurra el fenómeno de cavitación. En caso de utilizar bombas sumergibles se deben tener en cuenta las recomendaciones del fabricante acerca del rango aceptable de los niveles de encendido y apagado del sistema.

D.8.5.3.3 Ecuación de las bombas

La ecuación de la bomba debe ser suministrada por el fabricante de estos equipos. En caso de que esta ecuación no exista, el fabricante debe suministrar la curva de operación de la bomba y el diseñador debe hacer un análisis de regresión numérica con el fin de obtener la ecuación. Esta debe tener la forma establecida en la ecuación mostrada a continuación:

$$H = A Q^2 + B Q + C \quad (\text{D.8.5})$$

donde:

H = Altura total de bombeo incluyendo la altura topográfica, las pérdidas por fricción y las pérdidas menores existentes en las tuberías de impulsión (m).

Q = Caudal de bombeo (m³/s).

A, B, C = Coeficientes de la ecuación (adimensional).

D.8.5.3.4 Ecuación del sistema

En el caso de que el bombeo únicamente incluya una tubería de impulsión, la ecuación del sistema se debe obtener utilizando la ecuación de Darcy-Weisbach en conjunto con la ecuación de Colebrook-White. Para el uso de estas ecuaciones se debe utilizar la metodología establecida en el literal B.6.5.4 del Título B del RAS: “Sistemas de Acueducto” al igual que los coeficientes de rugosidad absoluta definidos en el mismo literal.

Para calcular la curva del sistema se debe hacer uso de la siguiente ecuación que relaciona el caudal a través de la tubería de descarga con la altura dinámica total.

$$H = H_T + \sum h_f + \sum h_m \quad (\text{D.8.6})$$

donde:

H = Altura dinámica total. Corresponde a la diferencia de altura entre la entrada y la salida de la bomba (m).

H_T = Diferencia topográfica máxima entre el nivel del agua mínimo en el punto de succión aguas arriba y el nivel del agua máximo en el punto de descarga aguas abajo (m).

h_f = Pérdidas por fricción en las tuberías de succión e impulsión (m).

h_m = Pérdidas menores causadas por todos los accesorios en las tuberías de succión e impulsión (m).

Para el cálculo de las pérdidas menores se debe seguir lo establecido en el literal B.6.5.4.2 del Título B del RAS: “Sistemas de Acueducto”. En el caso de que aguas abajo de la bomba exista una red de alcantarillado, el diseñador debe utilizar un programa de análisis hidráulico de sistemas de alcantarillado con el fin de obtener la ecuación del sistema para las diferentes condiciones de operación del bombeo y operación de la red de alcantarillado. Este análisis debe incluir los períodos de caudal máximo de operación y el período de caudal mínimo durante horas de la noche.

D.8.5.4 Bombas helicoidales

En el caso de bombas helicoidales, en el diseño se debe tener en cuenta lo establecido en el presente literal. El tornillo de Arquímedes es un tubo hueco, que hace las veces de eje, al cual se le unen una o más hojas espirales y que gira sobre una caja, lo cual eleva el agua contenida entre las espirales, el eje y la caja. En la Figura D.8.1 se muestra un esquema con las partes principales de una bomba de tornillo.

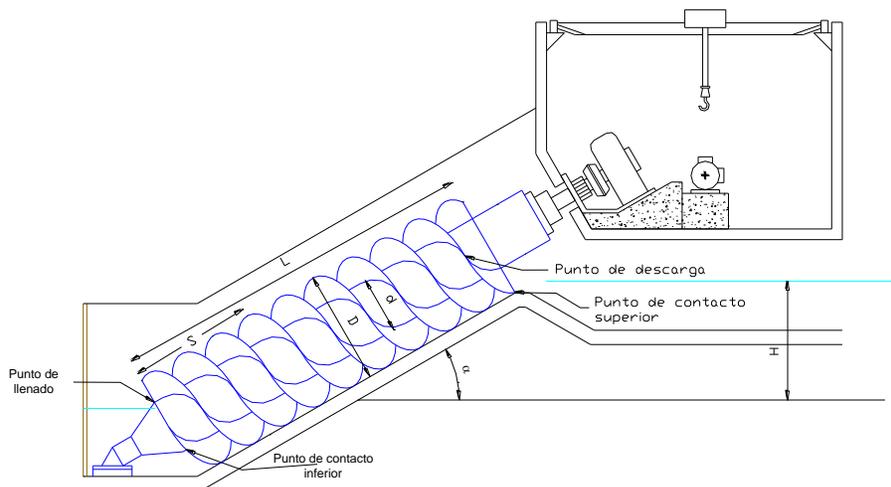


Figura D.8.1 Esquema bomba de tornillo de Arquímedes.

donde:

α = Ángulo de instalación (grados).

D = Diámetro del tornillo (m).

d = Diámetro del eje del tornillo (m).

- S = Paso del tornillo (m).
 L = Longitud de la espiral (m).
 H = Distancia vertical entre el punto de descarga y el punto de llenado (m).
 L_{apoyos} = Longitud entre apoyos (m).

En las bombas helicoidales, se deben tener en cuenta los siguientes conceptos:

1. El punto de llenado es aquel nivel de entrada de agua en el cual se alcanza la máxima capacidad, mejor eficiencia y el máximo consumo de potencia. Si el nivel es mayor, la capacidad no se modifica pero se pierde potencia y eficiencia.
2. El punto de contacto inferior es aquel nivel del agua a la entrada al cual se suspendería la descarga.
3. El punto de descarga es el máximo nivel contra el cual la bomba puede elevar agua sin perder eficiencia.
4. El punto de contacto superior es el nivel de salida y de contacto entre el tornillo, la caja y nivel de descarga.

D.8.5.4.1 Nivel en el canal de entrada

El diseñador debe tener en cuenta que al cambiar el nivel del agua en el canal de entrada, la capacidad de la bomba puede variar desde cero, cuando el nivel corresponde al punto de contacto inferior, hasta su valor máximo cuando el nivel del agua alcanza el punto de llenado. Los mejores valores de eficiencia, para una bomba de tornillo, se encuentran entre el 65% y el 75% del punto de llenado, según el diámetro de las bombas, pues a mayor diámetro, mayor es la eficiencia máxima.

D.8.5.4.2 Número de hojas o espirales

Las bombas de tornillo pueden tener una, dos o tres hojas o espirales. La capacidad de descarga puede aumentar en un 20% por cada incremento en el número de hojas.

D.8.5.4.3 Diámetro del tornillo

En general, estos tornillos se producen en un rango de diámetros que está entre 0,3 m y 3,0 m, con una capacidad de descarga que varía entre 0,01 y 3,2 m³/s. En todo caso, el diseñador debe consultar las características específicas de cada tornillo, de acuerdo con su fabricante.

D.8.5.4.4 Diámetro del eje

El diseñador debe establecer la relación, r , entre el diámetro del eje, d , y el diámetro del tornillo, D , que genere el mínimo consumo de material y optimice la capacidad de descarga de la bomba. Esta relación debe estar entre 0,4 y 0,6. En casos especiales, el diseñador puede utilizar un diámetro de eje mayor con la aprobación de la persona prestadora del servicio público de alcantarillado.

D.8.5.4.5 Deflexión máxima del tornillo

La deflexión máxima del tornillo causada por el peso de la bomba y del agua, debe ser menor que el espacio libre entre el borde de las espirales y la superficie de la caja en la que se encuentra el tornillo. En todo caso, se recomienda que la deflexión sea inferior a la deflexión máxima, calculada según la siguiente ecuación:

$$\Delta_{max} = \frac{L_{apoyos}}{20} \quad (D.8.7)$$

donde:

- Δ_{max} = Deflexión máxima del tornillo (m).
 L_{apoyos} = Distancia entre apoyos del tornillo (m).

La distancia entre el borde de las espirales y la superficie de la caja, depende del diámetro del tornillo y se recomienda que no supere el siguiente valor:

$$S_{ep} = 0.00449 \times \sqrt{D} \quad (\text{D.8.8})$$

donde:

S_{ep} = Distancia entre borde de espirales y superficie de la caja (m).

D = Diámetro de tornillo (m).

D.8.5.4.6 Velocidad de giro del tornillo

La velocidad de giro del tornillo está en función del diámetro y debe determinarse según la siguiente ecuación:

$$N = \frac{50}{D^{2/3}} \quad (\text{D.8.9})$$

donde:

N = Velocidad de giro (rpm).

D = Diámetro de tornillo (m).

Si se utilizan velocidades mayores, se generará una pérdida de eficiencia. Por otro lado, si la bomba opera a velocidades menores que el 70% de la velocidad calculada, también se presenta una pérdida de eficiencia. Dado el pequeño rango de velocidades de operación de estas bombas, no se deben usar motores de velocidad variable para operarlas.

D.8.5.4.7 Ángulo de inclinación del tornillo

El ángulo de inclinación del tornillo típicamente varía entre 20° y 40°. A menor ángulo de inclinación, la capacidad de descarga es mayor. Por cada grado de inclinación que se aumente, la capacidad de bombeo se ve reducida en un 3%. El valor de inclinación típico para una estación de bombeo por tornillos de Arquímedes es de 30°.

D.8.5.4.8 Potencia

Para el cálculo de la potencia de la bomba, se debe seguir lo establecido en el literal D.8.5.3.1 de este título, teniendo en cuenta que la altura de bombeo, H, en este caso es igual a la distancia vertical entre el nivel del agua en el canal de entrada y el punto de descarga.

D.8.5.5 Válvulas y accesorios en las estaciones elevadoras y/o de bombeo

D.8.5.5.1 Condiciones básicas

La estación elevadora y/o de bombeo debe tener ciertos accesorios que permitan una fácil operación, de acuerdo con las siguientes disposiciones:

1. Las válvulas de corte o cierre deben tener una señalización que indique si se encuentran abiertas o cerradas.
2. Las válvulas con diámetros mayores a 300 mm deben tener actuadores electromecánicos, para facilidad en la operación.
3. Para las válvulas de accionamiento manual, deben colocarse dispositivos que hagan posible su operación con una fuerza tangencial menor a 200 N.
4. Las válvulas de corte y cierre deben estar instaladas en sitios de fácil acceso para el operador de la estación elevadora y/o de bombeo.
5. Los accesorios deben ser bridados e instalarse en forma tal que resulte fácil su inspección y mantenimiento y que permitan el montaje y desmontaje.

D.8.5.5.2 Recomendaciones generales

En el diseño de la estación elevadora y/o de bombeo se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

1. Todas las unidades de bombeo deben tener una válvula de corte o cierre, o una válvula esférica con cheque en la tubería de impulsión.

2. En el caso de que el diseño contemple la instalación de bombas en pozos secos, y que operen por debajo del nivel de succión, deben tener una válvula de corte o cierre en la línea de succión.
3. En una tubería de succión que no trabaje con carga positiva debe instalarse una válvula de pie (retención) en la parte inferior para evitar su vaciado.

En todo caso, deben consultarse las normas técnicas NTC 1991, NTC 2011; en el caso de utilizar válvulas de retención, debe tenerse en cuenta la norma técnica colombiana NTC 1762, o las Normas AWWA C508, AWWA C510.

D.8.5.6 Eficiencia del bombeo

En el diseño se debe asegurar que para todas las posibles condiciones de operación de las bombas, estas trabajen en o cerca de su punto de máxima eficiencia, de acuerdo con la curva de eficiencia suministrada por el fabricante del equipo. El punto de operación del sistema de bombeo corresponde al cruce de las curvas de las bombas y del sistema, para cualquiera de las condiciones de operación de bombeo, ya sea en serie o en paralelo. Este punto de operación se debe obtener a partir de las alturas piezométricas, con base en las cuales se debe estimar la altura dinámica total y el caudal de bombeo. Esta condición de operación se debe comparar con el punto de operación inicial para establecer posibles problemas de la bomba o del sistema.

En estaciones elevadoras y/o de bombeo se deben evitar las curvas de doble pendiente teniendo en cuenta los siguientes puntos:

1. Si se está dentro de la zona de doble operatividad, es necesario tener en cuenta que a cualquier altura (H) le corresponden dos valores de caudal (Q).
2. Si se está por debajo o por fuera de la zona de doble operatividad, a cualquier punto de altura (H) de la curva le corresponde un solo caudal (Q) y la bomba trabaja con su mayor eficiencia.
3. La zona de máxima eficiencia del bombeo siempre se encuentra por fuera de la zona donde se presenta la doble operatividad.
4. Cuando se tienen dos bombas trabajando simultáneamente, existe la tendencia a trabajar en la zona de doble operatividad. En el diseño se debe controlar esto disminuyendo la altura estática de bombeo.
5. Para todos los caudales previstos se debe verificar el índice de cavitación.

D.8.5.7 Golpe de ariete en estaciones elevadoras y/o de bombeo

En el diseño de la estación elevadora y/o de bombeo se debe tener en cuenta el efecto de golpe de ariete causado por interrupciones en el suministro de energía eléctrica y la consecuente interrupción del flujo de agua. El cálculo del golpe de ariete se debe hacer de acuerdo con lo establecido en el literal B.6.5.8 del Título B del RAS: “*Sistemas de Acueducto*”. En todos los casos deben calcularse la sobre-elevación de presiones, las subpresiones y la velocidad de la onda de compresión. El análisis debe hacerse para el caudal máximo bajo las diferentes formas de operación de la estación elevadora y/o de bombeo.

En todo caso, en las estaciones elevadoras y/o de bombeo se debe disponer de mecanismos para el control del fenómeno del golpe de ariete, tales como volantes de inercia, válvulas anti-golpe de ariete, tanques hidroneumáticos y/o almenaras; en el programa de cálculo de golpe de ariete se deben simular estos mecanismos de control de subpresión y de sobrepresiones.

Se recomienda que las sobrepresiones máximas no superen más del 30% de la altura dinámica total y en lo posible se deben evitar presiones negativas en las tuberías. Adicionalmente, no se permite utilizar válvulas anticipadoras o de cheque como mecanismos de control del golpe de ariete.

D.8.5.8 Instalaciones eléctricas en las estaciones elevadoras y/o de bombeo

El diseño de la estación elevadora y/o de bombeo debe cumplir con las siguientes especificaciones, con respecto a las instalaciones eléctricas para la acometida de alta tensión, la subestación transformadora, la acometida de baja tensión y el sistema de potencia. Todas las especificaciones eléctricas deben cumplir con el Reglamento Técnico para Instalaciones Eléctricas – RETIE con respecto a las obligaciones acerca del uso final de la energía eléctrica.

D.8.5.8.1 Acometida de alta tensión

La acometida de alta tensión, desde la red de distribución, debe hacerse al mismo voltaje del sistema primario de distribución.

D.8.5.8.2 Subestación transformadora

En el diseño de la subestación transformadora se deben tener en cuenta los siguientes requisitos:

1. En lo posible, deben diseñarse subestaciones exteriores.
2. En las subestaciones de menos de 75 kW, el transformador debe instalarse sobre postes de concreto.
3. Si la subestación es de 75 kW o mayor, el transformador debe instalarse superficialmente sobre una base de concreto provista de rieles para permitir su fácil instalación y mantenimiento. En este caso en el diseño se debe incluir la construcción de una cerca de malla protectora, provista de una puerta suficientemente amplia que permita la entrada del transformador.
4. La protección eléctrica del circuito primario contra corto circuito debe hacerse con fusibles en caja primaria, en el último poste o en el seccionador.
5. Debe protegerse el circuito primario de la estación contra sobrevoltaje, mediante pararrayos en las tres líneas con conexiones a tierra.
6. Debe protegerse el circuito secundario contra cortos circuitos, por medio de un interruptor automático.

Para el diseño de la subestación transformadora debe seguirse todo lo establecido en la norma técnica colombiana NTC 3654.

D.8.5.8.3 Acometida de baja tensión

En el diseño de la acometida de baja tensión se deben tener en cuenta los siguientes requisitos:

1. El conducto debe diseñarse para soportar un 25% de sobrecarga, en cobre, con el diámetro apropiado y teniendo en cuenta las posibles ampliaciones de la estación elevadora y/o de bombeo en el futuro.
2. El tipo de aislamiento debe ser TW o su equivalente, y no se deben realizar empalmes en su trayectoria.
3. Debe proyectarse una acometida de varios cables por fase, con el objeto de facilitar la construcción, cuando el diámetro por fase del conductor de la acometida común sea mayor que 2/0.
4. Las acometidas deben protegerse apropiadamente con tubería eléctrica de PVC (embebida o enterrada) o Conduit metálica galvanizada (expuesta) de acuerdo con los requerimientos por número de conductores, calibre, disipación de calor, etc., en los diámetros existentes en el mercado. En el caso de las tuberías Conduit debe tenerse en cuenta la norma técnica colombiana NTC 105 o la norma técnica colombiana NTC 5320.
5. Si el diámetro requerido es mayor a 100 mm, el diseño debe considerar la utilización de *condulines* en concreto o un canal en concreto (cárcamo) con tapas en lámina corrugada (alfajor) o similar.
6. En todo canal de concreto debe proveerse un desagüe apropiado.
7. Deben proveerse cajas de empalme en la tubería, separadas a una distancia no mayor a 20 m.
8. Las tuberías o canales protectores deben enterrarse a una profundidad mínima de 0,6 m por debajo del nivel del piso.
9. Los empalmes de tubería Conduit metálica a PVC deben hacerse a través de una caja de empalme por unión o condulate, utilizando adaptadores roscados en la tubería de PVC. También se pueden utilizar tubos Conduit de polietileno teniendo en cuenta lo establecido en la Norma Técnica Colombiana NTC 5320.

Todas las instalaciones eléctricas relacionadas con la acometida de baja tensión, deben cumplir con lo establecido en la Norma Técnica Colombiana NTC 105.

D.8.5.8.4 Sistema de potencia

En general, para el diseño de los circuitos de los motores, se debe seguir lo establecido en las normas del Código Eléctrico Colombiano (NTC 277). En el diseño se deben tener en cuenta los siguientes requisitos:

1. Accionamiento de las bombas: Siempre que sea posible, las bombas deben accionarse con motores eléctricos directamente acoplados a ellas.
2. Motores de emergencia: Si en el sitio de instalación de la estación elevadora y/o de bombeo no hay seguridad en el servicio de energía eléctrica, en el diseño se deben contemplar fuentes suplementarias de energía, justificando la conveniencia de utilizar motores diésel o un generador eléctrico.
3. Características de los motores: Los motores eléctricos que accionan las bombas deben tener una velocidad sensiblemente constante, un par de arranque alto de acuerdo con el sistema de acople utilizado con la bomba (protección contra el golpe de ariete) y un buen factor de potencia.
4. Arrancadores: Para motores con una potencia menor a 7,5 KW, en el diseño se deben utilizar arrancadores de pleno voltaje o arrancadores compensados. Para motores con potencia superior, en el diseño se debe seleccionar el arrancador que se ajuste al par solicitado por el montaje realizado (directo) y de acuerdo con la secuencia de arranque. En el diseño se debe preferir la instalación de arrancadores electrónicos que permiten ahorro de energía eléctrica.
5. Voltaje de los circuitos: Si la potencia de los motores de la estación elevadora y/o de bombeo está entre 4 y 250 KW, se recomienda utilizar un voltaje entre 200 y 500 Vac trifásico. Para motores con potencia mayor a 250 KW, se recomienda utilizar un voltaje de 1000 Vac trifásico.
6. Caída total de tensión: La caída total de tensión desde la acometida hasta cualquier motor, no debe exceder el 5%.
7. Protección de los circuitos eléctricos: En el diseño se debe contemplar el uso de interruptores automáticos con protección termo-magnética, protección contra sobrecargas y contra cortos circuitos. Para un esquema básico de arrancador: interruptor-contador-térmico; el primero no puede ser automático.
8. Conductores y aislamiento: En el diseño se deben especificar los conductores teniendo en cuenta los posibles cambios de potencia de los motores en el futuro, para ampliaciones de la estación elevadora y/o de bombeo. Los conductores deben ser de cobre con aislamiento tipo TW para 600 voltios.
9. Canalización de los conductores: La canalización debe hacerse en tubería Conduit galvanizada, PE o PVC, si el diámetro nominal requerido no es mayor a 100 mm. En caso contrario, deben utilizarse varias tuberías de 50 mm o un canal de cables del cual se hará la derivación, en coraza flexible, a cada uno de los motores.
10. Arranque y parada a control remoto: Cuando se necesite arrancar y parar los motores a control remoto, deben proveerse equipos coordinadores y supervisores del proceso para su control, como un Controlador Lógico Programable (PLC), el cual debe estar unido a los interruptores automáticos, accionamientos por flotador y otros elementos para el control instalados en la estación elevadora y/o de bombeo, con el objeto de actuar sobre los circuitos, de tal forma que permitan el pare y arranque a control remoto del arrancador.
11. Conexión de carcasa a tierra: En el diseño se debe incluir un sistema a tierra, el cual debe cumplir con los requerimientos técnicos y lo exigido por seguridad industrial para garantizar la protección de los equipos y de los operadores, al que debe conectarse rígidamente la carcasa de los motores durante la construcción de la obra civil.
12. En caso de utilizar bombas sumergibles, se debe verificar que el motor y su sistema eléctrico pueden trabajar totalmente sumergidos para cada ciclo de bombeo y que cumplan con los requerimientos eléctricos definidos por el fabricante o por el diseñador del sistema.

D.8.5.8.5 Sistema de alumbrado de la estación elevadora y/o de bombeo

Con respecto al sistema de alumbrado de la estación elevadora y/o de bombeo, en el diseño se deben seguir, en particular, los siguientes requerimientos:

1. Los circuitos del sistema de alumbrado deben protegerse con interruptores automáticos con protección térmica y magnética.

2. La potencia inicial para un circuito de 15 amperios no debe exceder 1 kW.
3. La caída de tensión de un circuito derivado no debe exceder el 3%.
4. En ningún caso debe utilizarse un conductor menor que el número 12.
5. Si en el sistema de fuerza se utiliza un voltaje de línea de 200 voltios, la red de alumbrado puede derivarse del neutro y una de las fases, para obtener un voltaje de 127 voltios.
6. Si el sistema utiliza un voltaje de 440 voltios, la red de alumbrado debe incluir un transformador de 440/208/120 voltios.

Adicionalmente deben seguirse las recomendaciones de instituciones como el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Sector Eléctrico (CIDET) para este tipo de estaciones.

D.8.5.9 Dispositivos de medición y control

D.8.5.9.1 Instrumentación de la estación elevadora y/o de bombeo

En el diseño de la estación elevadora y/o de bombeo se deben incluir dispositivos de control e instrumentación para medir en tiempo real las condiciones de operación de la estación y detectar las fallas rápidamente. En lo posible, estos dispositivos deben ser automáticos, reduciendo al máximo la intervención del operador en las labores de medición. Con respecto a la instrumentación y control, en el diseño se deben incluir los siguientes dispositivos de control:

1. Medidor de caudal afluente.
2. Medidores de niveles.
3. Interruptor eléctrico accionado por flotador o interruptor electrónico en el tanque de succión, cuando éste exista, conectado con el arrancador de la bomba.
4. Interruptor electrónico o eléctrico accionado por flotador en el tanque de la descarga, conectado con el arrancador de la bomba.
5. Alarma de bajo nivel del agua en el pozo de succión.
6. Totalizador de caudales a la salida de la estación elevadora y/o de bombeo.

Además de los dispositivos anteriores, en los **sistemas con niveles de complejidad medio alto y alto** deben colocarse los siguientes dispositivos de control:

1. En el caso de que las bombas tengan una altura positiva de succión, se debe colocar un presostato que regule, de forma general, todo el equipo de bombeo.
2. Manómetro o vacuómetro con el fin de controlar las presiones de entrada a la bomba.
3. Tacómetros durante la prueba inicial en el motor de cada bomba.
4. Sistemas de auto lubricación en las bombas y cebado automático, en caso de que éste se requiera.
5. Relés de mínima potencia conectado al motor, de máxima potencia para proteger contra altos voltajes, diferencial de fases contra variaciones de tensión de una fase individual, y de contacto a tierra para proteger el motor.

D.8.5.9.2 Sala de control

En los **sistemas con niveles de complejidad medio alto y alto**, los sistemas de medición deben transmitir los datos a la sala de control, en la cual se ubicarán tableros que indiquen las condiciones de operación de la estación. Como mínimo, los tableros deben incluir la medición del caudal instantáneo por unidad de bombeo, de la presión en las líneas de succión y descarga, del nivel del agua en el pozo de succión cuando éste exista, de la temperatura y la presión del aceite en los motores, del voltaje y el amperaje de las líneas de alimentación de la bomba y de las revoluciones por minuto de los motores.

Así mismo, en la sala de control deben disponerse los interruptores y mecanismos que permitan poner fuera de servicio cualquier elemento relacionado con el sistema de bombeo.

El tamaño y complejidad de la sala de control y los sistemas de medición y control deben ser consecuentes con el **nivel de complejidad del sistema**.

D.8.5.10 Instalaciones complementarias para las estaciones elevadoras y/o de bombeo

D.8.5.10.1 Accesos y escaleras

Entre los diferentes pisos deben colocarse escaleras seguras y apropiadas que permitan la movilización del personal y los equipos necesarios. En caso de falta de espacio, deben usarse escaleras metálicas con barandilla, peldaños amplios y piso antideslizante.

D.8.5.10.2 Iluminación

La estación debe estar debidamente iluminada en su interior, ya sea por luz natural o artificial, evitando la utilización de aparatos que puedan provocar ilusiones ópticas.

D.8.5.10.3 Señalización

En el diseño de la estación elevadora y/o de bombeo se debe incluir una señalización visual clara en toda el área, indicando zonas de peligro de alta tensión, salidas de emergencia, localización de extintores, áreas de tránsito restringido y demás elementos y actividades que sea necesario resaltar por su peligro potencial o porque sean importantes en la prevención de accidentes.

La señalización debe cumplir con la Norma Técnica Colombiana NTC 1461. Las señales contra incendio deben seguir lo establecido en las Normas Técnicas Colombianas NTC 1931 y NTC 1867.

D.8.5.10.4 Ventilación

Con respecto a la ventilación, en el diseño de la estación elevadora y/o de bombeo se deben tener en cuenta los siguientes requerimientos:

1. Todas las salas, compartimentos, pozos y otros recintos cerrados por debajo del nivel del terreno, que puedan presentar un aire perjudicial, deben contar con una ventilación artificial forzada, realizando un mínimo de 6 cambios completos de aire por hora, cuando la ventilación es continua y 30 cuando es intermitente.
2. Los controles de ventilación forzada podrán ser accionados manualmente desde afuera del recinto o automáticamente, por medio de sensores y medidores, cuando se detecte concentración perjudicial de gases en el aire.

El diseño en todo caso debe seguir lo establecido en la Norma Técnica Colombiana NTC 1260.

D.8.5.10.5 Protección contra incendios

En la estación elevadora y/o de bombeo deben colocarse extintores contra incendio en sitios de fácil acceso donde puedan ocurrir inicios de incendio. La protección contra incendios debe cumplir con lo establecido en la Norma Técnica Colombiana NTC 1483.

D.8.5.10.6 Equipos de movilización y cargue

En el diseño de la estación elevadora y/o de bombeo se deben incluir elementos que permitan el transporte y la movilización de maquinaria y equipo, tales como puentes, grúas, rieles, poleas diferenciales, etc., teniendo en cuenta las siguientes disposiciones:

1. La capacidad del equipo debe ser suficiente para mover el elemento de mayor peso que pueda ser transportado al interior de la estación.
2. La trayectoria del equipo durante su movilización al interior de la estación elevadora y/o de bombeo debe analizarse para permitir que en todo momento el retiro, la movilización y la reposición de cualquier elemento de la estación sea fácil y expedita.
3. En el diseño se deben prever todos los accesos necesarios a la casa de bombas, de manera que permitan el manejo de los equipos en las labores de mantenimiento, retiro o reposición de elementos de la estación.

D.8.5.10.7 Drenaje de pisos

En el diseño de la estación elevadora y/o de bombeo se debe incluir el análisis del drenaje de los pisos de la estación, teniendo en cuenta los siguientes requerimientos:

1. Se deben incluir uno o dos pozos de drenaje hacia los cuales debe conducirse el agua de fugas o lavado, por medio de una pendiente muy suave en el piso de la estación de bombas.
2. Cuando los pozos de drenaje no puedan ser drenados por gravedad, deben disponerse bombas para tal fin. Estas bombas deben accionarse automáticamente, mediante el uso de sensores que detecten el nivel del agua en los pozos de drenaje. Esto último es obligatorio para los **sistemas con niveles de complejidad medio alto y alto**.

D.8.5.10.8 Instalaciones hidráulicas y sanitarias

En el diseño de la estación elevadora y/o de bombeo se deben incluir instalaciones hidráulicas y sanitarias teniendo en cuenta las siguientes disposiciones:

1. Debe preverse un tanque con capacidad adecuada para atender las necesidades de agua potable en la estación de bombeo.
2. Las aguas residuales deben ser recogidas por un sistema que las conduzca hasta un sitio seguro desde el punto de vista de aguas residuales.

D.8.5.10.9 Aislamiento acústico

En el diseño de la estación elevadora y/o de bombeo se debe incluir el análisis del aislamiento acústico teniendo en cuenta los siguientes requerimientos:

1. En caso de que puedan ocurrir incomodidades a los vecinos de la estación por ruido excesivo, debe diseñarse un sistema de aislamiento acústico de la estación.
2. La sala de operación y control debe tener aislamiento acústico de la sala de bombas, en particular para **sistemas con nivel de complejidad alto**.

D.8.5.11 Comprobación de diseño bajo diferentes condiciones de operación

Una vez finalizado el diseño de la estación elevadora y/o de bombeo, éste debe comprobarse para las condiciones extremas de operación que puedan ocurrir durante la vida útil del proyecto, incluyendo flujo permanente y condiciones de flujo no permanente o golpe de ariete. Las variables que se deben tener en cuenta para comprobar las diferentes condiciones de operación incluyen entre otras: capacidad del bombeo, altura total, altura topográfica, velocidad, potencia hidráulica, eficiencia de las bombas, altura neta de succión positiva (NPSH) de las bombas, aceleración de la gravedad y viscosidad cinemática del agua.

D.8.5.12 Protocolo de pruebas de diseño

Como parte del diseño, el diseñador debe establecer cuáles son las pruebas que se deben llevar a cabo una vez finalice la construcción de la estación elevadora y/o de bombeo y la colocación de los equipos eléctricos y mecánicos. En el diseño se deben establecer los puntos de medición de caudal, de velocidades, de niveles y de presiones, los equipos de toma de mediciones, su precisión y el nivel de frecuencia de toma de datos. Los resultados tomados en campo deben verificarse con aquellos arrojados por el proceso de modelación hidráulica de la estación elevadora y/o de bombeo.

Los protocolos de prueba deben incluir condiciones hidráulicas con diferentes aperturas de válvula, operación de bombas en grupo, operación de bombas en forma individual y para diferentes condiciones de niveles del agua en el conducto afluente a la estación. Lo anterior aplica para los **sistemas** de todos los **niveles de complejidad**.

D.8.5.13 Uso de tecnologías de información para el diseño de estaciones elevadoras y/o de bombeo

En el diseño de las estaciones de bombeo y de sus tuberías de succión e impulsión se deben utilizar tecnologías de información en los **sistemas con niveles de complejidad medio alto y alto**, y se recomienda en los **sistemas con niveles de complejidad medio y bajo**, cumpliendo los siguientes requerimientos:

1. El diseño de las estaciones elevadoras y/o de bombeo y de sus tramos de succión e impulsión debe realizarse sobre un programa de modelación hidráulica, que use el método del gradiente o

un método equivalente para el cálculo de tuberías simples, en caso de que se tenga únicamente una tubería de impulsión; para el diseño deben emplearse rutinas de optimización.

2. El diseño dentro del programa de modelación hidráulica debe partir de la información planimétrica y altimétrica de la zona de interés. En caso de que ésta no exista, que se realicen nuevos levantamientos, o que se actualice la existente, la información debe presentarse en formatos compatibles con el sistema de información geográfico y las bases de datos de la persona prestadora del servicio público de alcantarillado.
3. En el diseño se debe tener en cuenta la información de potencia, eficiencia y curvas de las bombas, altura estática entre los tanques de almacenamiento aguas arriba y aguas abajo, curva de demanda, capacidad de energía eléctrica de la zona, etc., proveniente de las bases de datos de la persona prestadora del servicio público de alcantarillado. Si esta información no se encuentra disponible o está desactualizada y se realizan nuevos estudios, ésta se debe presentar en formatos compatibles con las bases de datos de las personas prestadoras del servicio.

D.8.5.14 Manual de operación

Para los **sistemas** de todos los **niveles de complejidad**, y como una parte integral del proceso de diseño, el diseñador debe redactar y entregar a la persona prestadora del servicio público de alcantarillado, el manual de operaciones de la estación de bombeo, en el cual queden establecidas las diferentes formas de operar la estación, incluyendo las siguientes:

1. Operación normal en el momento de entrada en operación.
2. Operación normal para las condiciones al final del período de diseño.
3. Operación bajo condiciones de emergencia.
4. Operación bajo condiciones especiales de mantenimiento.
5. Otras condiciones especiales de operación que hayan sido especificadas por la persona prestadora del servicio público de alcantarillado del municipio en los pliegos para la licitación del diseño.

D.8.6 ASPECTOS DE LA PUESTA EN MARCHA

Una vez que la etapa de construcción de la estación de bombeo haya finalizado, la persona prestadora del servicio público de alcantarillado debe asegurar que se lleven a cabo, por parte del constructor, las pruebas descritas en los literales D.8.6.1 a D.8.6.7 de este título. La persona prestadora del servicio público de alcantarillado debe verificar antes de la puesta en operación definitiva del sistema que se cumpla con el protocolo de pruebas establecido por el diseñador de la estación de bombeo tal como se mencionó en el literal D.8.5.12 de este título.

D.8.6.1 Inspecciones preliminares

En el diseño de la estación elevadora y/o de bombeo se debe indicar el tipo de inspecciones preliminares que deben hacerse a la estación elevadora y/o de bombeo una vez ésta haya sido construida. Las inspecciones preliminares deben incluir entre otras, las siguientes:

1. Verificación que el sentido de giro del motor sea el correcto.
2. Verificación de todas las instalaciones eléctricas con sus conexiones y aislamientos.
3. Verificación del correcto funcionamiento de válvulas y accesorios en su apertura y cierre. Esta verificación debe hacerse antes del montaje final de dichos accesorios en la estación elevadora y/o de bombeo. En particular debe medirse el tiempo de accionamiento y corregirse el mecanismo, en caso de requerir grandes esfuerzos para la operación de las válvulas.
4. Debe observarse el correcto funcionamiento de los interruptores, los arrancadores, los sensores y demás elementos de control, en especial si estos son de accionamiento automático.
5. Debe asegurarse que los ejes de los motores estén perfectamente alineados.
6. Debe verificarse el nivel de ruido de la estación de acuerdo con el literal D.8.4.12 de este título.
7. Los motores y válvulas deben estar perfectamente lubricados. Debe verificarse la calidad y cantidad del aceite lubricante.

D.8.6.2 Pruebas preliminares

Además de las pruebas realizadas y detalladas en el protocolo de pruebas preparado por el diseñador, una vez haya finalizado el proceso de construcción de la estación elevadora y/o de bombeo, deben realizarse unas pruebas preliminares de bombeo en las condiciones normales y críticas de operación, con el fin de detectar posibles errores y tomar las medidas correctivas, antes de entregar la estación elevadora y/o de bombeo a disposición del sistema de alcantarillado.

Deben tomarse registros de los datos de los cuales se exija medición y presentar un informe de la prueba, el cual debe contener el resultado de los ensayos realizados y las condiciones anormales encontradas. En caso de encontrar anomalías en el funcionamiento o condiciones de operación diferentes a las previstas en el diseño, deben tomarse las medidas correctivas que sean necesarias antes de poner en servicio la estación.

Las pruebas preliminares deben llevarse a cabo de acuerdo con los requisitos definidos en los siguientes literales D.8.6.2.1, D.8.6.2.2 y D.8.6.2.3.

D.8.6.2.1 Pozo de succión

En caso de que en la estación elevadora y/o de bombeo exista un pozo de succión, debe hacerse una prueba hidrostática con el nivel máximo posible, con el fin de detectar fugas y verificar el comportamiento estructural del pozo. Una vez en operación debe observarse la forma de las líneas de corriente de flujo a la entrada, asegurándose de que no ocurran zonas de alta turbulencia y que la entrada a las tuberías de succión sea uniforme en todas las unidades de bombeo, sin presentar vorticidad. Debe verificarse que no existan zonas muertas en el pozo.

D.8.6.2.2 Bombas y motores

Para la primera inspección del comportamiento de las bombas, deben tenerse en cuenta las siguientes disposiciones:

1. Para cada bomba individual deben observarse las condiciones de circulación del agua y la posible vorticidad en el pozo de succión. Debe prestarse especial atención a la posible entrada de aire a la tubería de succión.
2. Deben medirse el número de revoluciones por minuto, la presión en las líneas de succión y descarga, la presión y temperatura del aceite, y calcularse la altura neta de succión positiva (NPSH) con el fin de asegurar que no ocurra el fenómeno de cavitación.
3. Deben verificarse los niveles de ruido y vibración de los equipos electromecánicos.
4. En el caso de motores diésel, deben estimarse los tiempos de arranque.
5. Debe obtenerse el punto de operación de la estación elevadora y/o de bombeo, midiendo el caudal total a la salida de una unidad de bombeo y la altura dinámica total suministrada, con el fin de verificar que la bomba se encuentre operando en o cerca de su nivel de máxima eficiencia.

D.8.6.2.3 Dispositivos de control

Una vez concluida la construcción de la estación elevadora y/o de bombeo, debe asegurarse el normal funcionamiento de los equipos de medición, de control y de transmisión de datos. En especial debe observarse el comportamiento de manómetros, sensores, flotadores, indicadores de nivel y demás dispositivos de control.

D.8.6.3 Pruebas hidrostáticas para tuberías de impulsión

Una vez finalizada la instalación de la tubería de impulsión, y siguiendo el protocolo de pruebas establecido en el diseño, ésta debe presurizarse hasta el nivel máximo de la presión dinámica que va a soportar durante su vida útil, con el fin de verificar su estanqueidad y si existen problemas en las uniones, las juntas, los accesorios, etc. Igualmente debe verificarse el correcto funcionamiento de los anclajes, de acuerdo con el protocolo de pruebas.

D.8.6.4 Medición de caudales en tuberías de impulsión

Una vez finalizadas las pruebas hidrostáticas de la tubería de impulsión, deben verificarse los caudales de operación incluyendo el caudal máximo. Para verificar dichos caudales deben aforarse tanto el caudal

de entrada como el caudal de salida de la tubería de impulsión. El diseñador, dentro del protocolo de pruebas, debe establecer el tipo de aparatos de medición, su precisión y el nivel de duración de la prueba.

D.8.6.5 Línea piezométrica de la tubería de impulsión

Con el fin de verificar lo establecido en el diseño, y siguiendo el protocolo de pruebas dado por el diseñador, debe medirse la altura piezométrica en diferentes puntos de la tubería de impulsión para diferentes condiciones de caudal, incluyendo tanto el caudal mínimo como el caudal máximo. Para verificar la altura piezométrica se debe poner especial cuidado en aquellos puntos de la tubería de impulsión donde haya cambios de dirección, tanto verticales como horizontales. Los datos registrados deben ser almacenados en el sistema de información, con el fin de ser comparados con aquellos obtenidos a lo largo del período de diseño del proyecto durante su operación normal.

D.8.6.6 Golpe de ariete

Teniendo en cuenta lo establecido por el diseñador con respecto al golpe de ariete según lo descrito en el literal D.8.5.7 de este título, deben medirse la condición normal de operación que produzca las mayores sobre-presiones y la condición normal de operación que produzca las menores subpresiones, con el fin de realizar una prueba de golpe de ariete. Esta prueba debe simular la condición normal de operación establecida en los protocolos de prueba y la presión debe medirse en aquellos puntos, que de acuerdo con el diseño, presentan las máximas sobre-elevaciones de presión y las mínimas subpresiones. Estos datos deben conservarse en el sistema de información de la persona prestadora del servicio público de alcantarillado, con el fin de comparar con los datos que se obtengan durante todo el período de operación normal de la red.

D.8.6.7 Accesorios y válvulas

Una vez finalizada la construcción e instalación de los componentes de la estación elevadora y/o de bombeo, se debe verificar la estanqueidad de cada uno de los accesorios.

D.8.6.7.1 Válvulas de cheque o de retención

Para este tipo de válvulas se debe verificar que no haya contraflujos que ocasionen daños en las bombas o posibles aplastamientos de las tuberías. Las válvulas de cheque deben cumplir con las normas técnicas colombianas correspondientes o en su defecto con las normas AWWA C508, AWWA C510. En el caso de utilizar aleaciones de cobre como material de fabricación de estas válvulas, debe cumplirse con la norma técnica colombiana NTC 1762.

D.8.7 ASPECTOS DE LA OPERACIÓN

Para el caso de las estaciones de bombeo y /o elevadoras, desde la etapa de diseño se debe crear un manual de operaciones con el fin de asegurar el correcto funcionamiento hidráulico del sistema de bombeo y plantear el procedimiento a llevar a cabo bajo diferentes condiciones de operación, ya sea normal o de emergencia, las cuales puedan ocurrir a lo largo de la vida útil del proyecto.

En el diseño de la estación elevadora y/o de bombeo se debe asegurar que durante la operación se pueda cumplir con los requisitos mínimos mostrados a continuación:

1. El funcionamiento de la estación elevadora y/o de bombeo debe ser verificado permanentemente por al menos un técnico preparado para supervisar la operación y realizar las acciones correctivas o de suspensión del servicio, en caso de que se presente cualquier situación anormal.
2. El accionamiento de las bombas debe ser automático utilizando sensores de nivel en los pozos de succión y en los tanques de descarga, de forma tal que se apaguen las bombas, en caso de que los niveles de agua impidan el normal funcionamiento del sistema de bombeo.
3. Todos los dispositivos de medición y control deben dar indicaciones visuales y sonoras de una situación potencial de peligro.
4. Se deben disponer de elementos y sistemas para la limpieza de la estación de bombeo, tales como tanques de aguas claras, tuberías, tomas, mangueras, bombas de achique, sifones, etc.

5. Debe disponerse de sistemas de encendido individual para cada unidad de bombeo.
6. Para los **sistemas con niveles de complejidad medio alto y alto**, los parámetros que deben ser permanentemente medidos en la estación elevadora y/o de bombeo, y deben ser enviados a la sala de control para tener un registro que se puede tener a disposición de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, deben incluir por lo menos los siguientes:
 - a) Caudal total de la estación.
 - b) Caudal por cada una de las bombas (caudal por cada bomba).
 - c) Niveles en el canal o tubería afluente.
 - d) Presión en las líneas de succión de cada unidad de bombeo.
 - e) Presión en cada una de las líneas de impulsión.
 - f) Nivel del agua en el pozo de succión.
 - g) Nivel del agua en el tanque de descarga.
 - h) Niveles de ruido y vibración.

D.8.7.1 Mediciones de caudal

Durante todo el período de proyección del proyecto debe medirse en forma continua el caudal de bombeo, guardando los registros en una base de datos que permita establecer el balance de agua en la línea de impulsión y en la descarga aguas abajo de ésta. En los **sistemas con niveles de complejidad medio alto y alto** las mediciones de caudal se deben realizar por medio de telemetría, para lo cual en el diseño se deben establecer claramente: el punto de medición, los instrumentos a ser utilizados, la frecuencia de toma de datos de caudales y el nivel de precisión de las medidas.

En los **sistemas con niveles de complejidad medio alto y alto** con respecto a los medidores de velocidad y de caudal, debe verificarse que la capacidad de estos cubra todo el rango de velocidades que puedan presentarse en la tubería, tanto bajo condiciones normales de operación como bajo condiciones de emergencia.

D.8.7.2 Línea de gradiente hidráulico de la tubería de impulsión

Durante todo el período de proyección del proyecto debe hacerse una revisión continua de la línea piezométrica o línea de gradiente hidráulico a lo largo de todas las tuberías de impulsión. En **sistemas con niveles de complejidad medio alto y alto** la medición de la línea piezométrica se debe realizar por medio de telemetría, en el diseño se deben establecer en forma clara: los puntos de medición, los instrumentos a ser utilizados, la frecuencia de medición y la precisión de éstas. Estos registros deben guardarse en la base de datos de la persona prestadora del servicio público de alcantarillado, los cuales servirán como insumo de los modelos hidráulicos del sistema de alcantarillado.

Para los **sistemas con niveles de complejidad medio alto y alto** se deben considerar los siguientes aspectos para realizar las mediciones de la línea piezométrica:

1. En todos los puntos de la línea de impulsión en los cuales exista instrumentación telemétrica, establecida en el diseño, debe verificarse que la precisión de los instrumentos en el momento de entrar en operación esté dentro del rango $\pm 1\%$. Adicionalmente, debe verificarse su correcta instalación en los diferentes puntos de la tubería, en forma permanente a lo largo del período de diseño del proyecto.
2. En el caso específico de los sensores o transductores de presión, debe verificarse que la capacidad de estos cubra todo el rango de presiones que pueda presentarse en la línea de impulsión, tanto bajo condiciones normales de operación como bajo condiciones de emergencia, en particular las sobrepresiones y subpresiones ocasionadas por los casos de flujo no permanente.
3. En el caso de los sensores de nivel, debe verificarse que la capacidad de estos cubra todo el rango de niveles que pueda presentarse en el canal afluente y en el pozo de succión, tanto bajo condiciones normales de operación como bajo condiciones de emergencia, en particular los niveles máximos y mínimos que se puedan presentar.

D.8.7.3 Punto de operación de la bomba

Con los datos de caudal y de altura piezométricas medidos, se debe verificar en forma continua el punto de operación de las bombas, con el fin de asegurar que se esté operando en los puntos de eficiencia máxima dados en el diseño. El diseñador debe establecer el rango de precisión de estas medidas por fuera del cual se requiera una revisión del estado de bombas y de los demás equipos electromecánicos de la estación elevadora y/o de bombeo.

D.8.7.4 Golpe de ariete

Durante la operación normal del sistema de bombeo, se deben medir en las tuberías de impulsión la sobrepresión y subpresión generadas bajo condiciones de flujo no permanente, anotando en forma específica la forma de operación de las válvulas y bombas. En **sistemas con niveles de complejidad medio alto y alto** las mediciones se deben realizar por medio de telemetría, para lo cual en el diseño se deben establecer en forma clara los puntos de medición, los aparatos de medición, la frecuencia de toma de datos y el nivel de precisión. Estos registros deben guardarse en la base de datos de la persona prestadora del servicio público de alcantarillado, los cuales servirán como insumo de los modelos hidráulicos del sistema de alcantarillado.

D.8.7.5 Uso de tecnologías de información para la operación

Para los **sistemas con niveles de complejidad medio alto y alto**, la operación de las tuberías de impulsión se debe modelar en un programa de modelación hidráulica de redes, preferiblemente basado en el método del gradiente. Dicho modelo debe tener en cuenta la altimetría, planimetría, altura estática entre los tanques aguas arriba y aguas abajo y los caudales de aguas residuales. La topología del modelo debe representar de manera precisa la condición actual de la red. La operación del sistema se debe modelar sobre un modelo hidráulico calibrado para representar el comportamiento real de la red. Por consiguiente, el modelo hidráulico utilizado debe contar con rutinas de calibración.

D.8.8 ASPECTOS DEL MANTENIMIENTO

Para **sistemas con nivel de complejidad alto** se debe tener en cuenta el sistema de gestión de calidad de acuerdo con lo establecido por la persona prestadora del servicio público de alcantarillado. Para los demás **sistemas** o cuando los aspectos de mantenimiento no se encuentren especificados se deben seguir los lineamientos de los literales D.8.8.1 a D.8.8.7 de este título.

D.8.8.1 Manual de mantenimiento

Para los **sistemas** de todos los **niveles de complejidad**, en que existan o estén proyectados sistemas de bombeo debe existir un manual de mantenimiento donde se incluya un programa rutinario de labores de inspección, mantenimiento y reparación determinando la serie de actividades operativas diarias, semanales, mensuales y anuales. La persona prestadora del servicio público de alcantarillado debe mantener actualizado dicho manual de mantenimiento el cual debe guardar concordancia con los literales D.8.8.2 a D.8.8.7 de este título.

D.8.8.2 Aspectos generales

En el diseño de la estación elevadora y/o de bombeo se debe incluir un programa rutinario de labores de inspección, mantenimiento y reparación, estableciendo una serie de actividades rutinarias. Tal diseño debe incluir la posibilidad aprovechar la mayor eficiencia del sistema de bombeo en búsqueda de minimizar el costo de mantenimiento de la estación.

De acuerdo con lo anterior en el diseño se deben considerar las actividades que se deben llevar a cabo en el caso en que se detecte la pérdida de eficiencia en el bombeo. Se debe establecer el nivel de eficiencia para el cual se debe iniciar el proceso de mantenimiento de la bomba o la estación elevadora y/o de bombeo, con el fin de volver a poner el equipo en su nivel de eficiencia máxima.

D.8.8.3 Mantenimiento preventivo

Todos los elementos que formen parte de la estación elevadora y/o de bombeo deben tener programas de mantenimiento. Las labores de mantenimiento deben ser siempre de tipo preventivo. Para esto, en el diseño se deben considerar las rutinas de mantenimiento desde la época de concepción del proyecto y permitir en todo caso, el normal funcionamiento de la estación sin interrupciones en el servicio.

D.8.8.3.1 Mantenimiento en el pozo de succión

En caso de que el pozo de succión exista, se deben hacer limpieza y verificación de filtraciones, por lo menos una vez cada año en los **sistemas con niveles de complejidad medio y bajo** y por lo menos una vez cada seis meses en los **sistemas con niveles de complejidad medio alto y alto**.

D.8.8.3.2 Mantenimiento en los equipos de bombeo

Con una frecuencia de un mes como mínimo, debe realizarse la limpieza de los equipos de bombeo, la verificación de la calidad del aceite de los motores y de la operación de las instalaciones eléctricas.

D.8.8.3.3 Mantenimiento en los accesorios

Para los accesorios que formen parte de la estación elevadora y/o de bombeo, se requieren las siguientes labores de mantenimiento: en las válvulas y rejillas de cribado, debe verificarse el estado, la apertura, etc. al menos una vez cada mes. Debe verificarse el funcionamiento y operación de las válvulas de cheque por lo menos cada seis meses.

En todo caso el mantenimiento de válvulas y accesorios debe realizarse teniendo en cuenta las normas técnicas respectivas.

D.8.8.3.4 Mantenimiento en los equipos eléctricos

Con respecto a los equipos eléctricos que forman parte de la estación, el mantenimiento debe realizarse de acuerdo con los manuales de mantenimiento elaborados por cada persona prestadora del servicio público de alcantarillado, los cuales deben basarse en lo establecido en el Código Eléctrico Colombiano (Norma Técnica Colombiana NTC 2050) y los manuales de operación y mantenimiento de los fabricantes de los equipos eléctricos.

D.8.8.3.5 Registro de mantenimientos

Siempre que las personas prestadoras del servicio hagan labores de mantenimiento en las estaciones elevadoras y/o de bombeo y en las tuberías de impulsión y succión, deben cumplirse los siguientes requisitos:

1. En los mantenimientos preventivos, tanto de las líneas de tuberías como del equipo electromecánico, es obligatorio anotar la fecha del mantenimiento, el tipo de mantenimiento, los repuestos utilizados y los procedimientos desarrollados durante las labores de mantenimiento.
2. Las personas prestadoras del servicio deben tener una base de datos con el registro histórico de los daños ocurridos en la estación elevadora y/o de bombeo y las tuberías, así como de los mantenimientos preventivos que se hagan en ésta.

D.8.8.4 Mantenimiento correctivo

Deben tomarse las medidas correctivas necesarias en caso de encontrar anomalías en cualquiera de los elementos de la estación, por lo tanto:

1. Es obligatorio anotar la fecha del daño, el tipo de daño ocurrido, la causa del daño, los repuestos utilizados y los procedimientos de reparación.
2. Como actividad diaria debe hacerse una inspección general a los equipos de bombeo, el tablero de control y los niveles del agua. De igual forma, debe prestarse especial atención a las condiciones de operación, tales como cantidad de ruido y vibración.
3. Con una frecuencia de una vez cada año, o menor, debe hacerse alineación de los motores de las bombas y verificación del estado de las protecciones eléctricas.

En **sistemas con nivel de complejidad bajo**, es recomendable que el programa de mantenimiento incluya labores de carácter correctivo.

D.8.8.5 Disponibilidad de repuestos

En **sistemas con nivel de complejidad alto** la consecución y localización *in situ* de los repuestos debe ser inmediata para aquellos casos que impliquen la suspensión del servicio, ya sea por mantenimiento preventivo o por situaciones de emergencia.

En **sistemas con nivel de complejidad medio alto** debe existir disponibilidad y/o adquisición de los insumos para la reparación de cualquier elemento en 48 horas como máximo. Si la inexistencia del insumo requerido implica una suspensión forzosa del servicio en parte de la estación, la adquisición debe hacerse en un máximo de 24 horas.

En **sistemas con niveles de complejidad medio y bajo** debe existir disponibilidad y/o adquisición de los insumos para la reparación de cualquier elemento en 72 horas como máximo. Si la inexistencia del insumo requerido implica una suspensión forzosa del servicio en parte de la estación, la adquisición debe hacerse en un máximo de 24 horas.

D.8.8.6 Uso de tecnologías de información para labores de mantenimiento

En **sistemas con niveles de complejidad medio alto y alto**, las operaciones de mantenimiento se deben apoyar en un modelo hidráulico calibrado con el fin de dimensionar el impacto de las acciones de intervención sobre la estación elevadora y/o de bombeo y las tuberías de succión e impulsión. De esta manera, si se planea realizar cierres en la red, deben ser modelados para entender el comportamiento y el impacto de la acción a realizar.

En **sistemas con nivel de complejidad alto**, las intervenciones en campo deben estar apoyadas por sistemas de posicionamiento global (GPS), de manera que se permita una rápida actualización de cualquier cambio de la red sobre la cartografía digital de la zona. En caso de que existan cambios en esta información, ésta debe ser modificada en los sistemas de información geográfica de la persona prestadora del servicio público de alcantarillado.

D.8.8.7 Posibles suspensiones del servicio

El escenario correspondiente a la suspensión del servicio de las estaciones elevadoras y de bombeo debe ser manejado mediante determinaciones tomadas por la persona prestadora del servicio público de alcantarillado a través de manual de contingencia de la estación elevadora y/o de bombeo en el cual se tengan en cuenta las más probables situaciones de emergencia generadas por este evento. En dicho manual de contingencia se deben definir: el procedimiento preciso de cierre de bombas, el tiempo máximo de las labores de reparación, los puntos de descarga de emergencia y, las responsabilidades de cada uno de los miembros del personal de mantenimiento durante la suspensión del servicio.

En general se debe diseñar un procedimiento que tenga como objetivo evitar escapes y rebosamientos de aguas residuales y/o lluvias en la estación dentro del cual se tengan en cuenta almacenamientos de emergencia y el plan a seguir durante la inactividad de las bombas.

CAPÍTULO D.9

D.9. BIBLIOGRAFÍA

Ackers, Jhon; Butler, David; May, R.W.P. Design of Sewers to Control Sediment Problems. Ciria Repor 141. London. 1996.

Alaix, A., Esneda M. Procuraduría General de la Nación. Mapa de Riesgos Institucional. Oficina de Control Interno. 2006 Imprenta Nacional de Colombia.

American Society for Testing Material. www.astm.org.

American Water Works Association. www.awwa.org.

Arocha, Simón. Cloacas y Drenajes: Teoría y Diseño. Ediciones Vega. 1 edición. Madrid. 1983.

ASCE. Manuals and Reports on Engineering Practice N° 60. WEF Manual of Practice N°. FD-5. Gravity Sanitary Sewer: Design and Construction. 2 edición. USA. 2007.

ASCE. Joint Committee American Society of Civil Engineers and Water Pollution Control Federation. Manuals and Reports on Engineering Practice N° 37. WPCF Manual of Practice N°. 9. Design and Construction Sanitary Storm Sewers. 1 edición. New York. 1969.

Asociación Española de Normatización y Certificación. www.aenor.es.

Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. División de Ingeniería Sanitaria y Ambiental en Emergencias y Desastres. 2001.

Ballard, B. Woods, et al. The SUDS Manual. Ciria C697. Capítulo 1. London. 2007.

Bartlett, Ronald. Public Health Engineering – Design in Metric Sewerage. Elsevier Publishing Company Limited. Amsterdam. 1970.

Butler, David; Davies, John. Urban Drainage. 2 ed SponPress. London. 2004.

Cater, Jeremy, et al. Environmental Impact Assessment Review. Sustainability Appraisal and Flood Management. ELSEVIER. 2008.

Chanson, Hubert. The Hydraulics of Open Channel Flow: An Introduction. Second edition. Australia. 2004.

City of Naperville Design Manual for Public Improvements. 2002.

Colombia. Informe sobre Seguimiento Mundial 2008. [Consultado 26 feb. 2009"] Disponible en < <http://www.bancomundial.org/investigacion/>>

Colombia. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Objetivos del Milenio. [Consultado 26 feb. 2009"] Disponible en < <http://www.pnud.org.co>>

Comisión Nacional del Agua. Manual de Agua Potable y Saneamiento Básico. Alcantarillado pluvial. Secretaría De Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. dic. 2007.

Comisión Nacional del Agua. Manual de Agua Potable y Saneamiento Básico. Alcantarillado sanitario. Secretaría De Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. dic. 2007.

Corcho, Freddy; Duque, José. Acueductos Teoría y Diseño. Universidad de Medellín. 1997.

D. Muschalla., et al. The HSG Guideline Document for Modeling Integrated Urban Wastewater Systems. Edinburgh: Scotland. 2008.

Deksissa, Tolessa; Behera, Pradeep. Water Resource Research Institute. Modeling Of Integrated Urban Wastewater System: Model Selection and Implementation. 2004.

RAS. Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales Domésticas y Aguas Lluvias

- Design Criteria Manual. Engineering Department. City of Surrey. Section 4. 2004
- Designing for Exceedance in Urban Drainage – Good Practice. Apéndice D-A7. Ciria C635. London. 2006.
- Empresas Públicas de Medellín E. S. P. Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de las Empresas Públicas de Medellín E. S. P. Colombia. 2006.
- Environmental and Engineering Services. Hydraulics Manual. Washington. 2007.
- Fair, Gordon, et al. Abastecimiento de Aguas y Remoción de Aguas Residuales. Volumen 1. Primera edición. México 1974.
- Federal Highway Administration. Urban Drainage Design Manual. University Press of the Pacific. Honolulu, Hawaii. 2005.
- Gaines, J.B. Peak Sewage Flow Rate: Prediction and Probability. Journal of Pollution Control Federation, 1989.
- German ATV-DVWK Rules and Standards. ATV-DVWK - A 110E. Hydraulic Dimensioning and Performance Verification of Sewers and Drains. 2001.
- German ATV-DVWK Rules and Standards. ATV-DVWK - A 118E. Wastewater-waste: Hydraulic Dimensioning and Verification of Drainage Systems. 1999.
- German ATV-DVWK Rules and Standards. ATV-DVWK - A 157E. Sewers Systems Structures. 2000.
- Greene, Richard. et al. Journal of Surveying Engineering. GIS-Based Approach to Sewer System Design. Feb. 1999
- Hager, Willi. Wastewater Hydraulics. Theory and Practice. Berlin.1999.
- Hapurme, Tania. Upgrading The Sewer Infrastructure Using Modern Technologies, An Essential Factor In The Framework Of Sustainable Urban Development. University “Gh. Asachi” Iasi, Romania, B-dul D.
- Heaney, James. et.al. Innovative Urban Wet-Weather Flow Management Systems. Pennsylvania. 2000.
- Hvitved, Thorkild-Jacobsen. Sewer processes. Microbial and Chemical Processes Engineering Of Sewer Networks. London. 2000.
- Ingeniería Sanitaria – Alcantarillado de Aguas Residuales. Diseño y Cálculo de Redes. Instituto Nacional de Normalización. NCh 1105-1998.
- Instituto Boliviano de Normatización y Calidad. Norma Boliviana. NB688. Diseño de Sistemas de Alcantarillado Sanitario y Pluvial. 2007. 127 p.
- Instituto Boliviano de Normatización y Calidad. Norma Boliviana. NB688. Diseño para Sistemas de Alcantarillado y Tratamiento de Aguas Residuales. 2007. 127 p.
- Instituto Boliviano de Normatización y Calidad. Norma Boliviana. NB688. Instalaciones Sanitarias – Alcantarillado Sanitario, Pluvial y Tratamiento de Aguas Residuales. 2001. 106 p.
- Instituto Boliviano de Normatización y Calidad. Norma Boliviana. NB688. Reglamento Técnico de Diseño de Estaciones de Bombeo. 2007. 107 p.
- Instituto Boliviano de Normatización y Calidad. Norma Boliviana. NB688. Reglamento Técnico de Diseño de Alcantarillado de Elementos y Dispositivos de Inspección, 2007.
- Instituto Boliviano de Normatización y Calidad. Norma Boliviana. NB688. Reglamento Técnico de Diseño para Sistemas de Alcantarillado Sanitario. 2007. 50 p.
- Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Reglamentación Técnica, 2006.
- Instituto Nacional de Obras Sanitarias Dirección General de Proyectos. República de Venezuela. Normas e Instructivos para el Proyecto de Alcantarillados. Caracas. 1975.
- Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados. Guías Técnicas para Diseño de Alcantarillado Sanitario y Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. 2000.

RAS. Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales Domésticas y Aguas Lluvias

- IPPC Technical Paper IV. Climate Change and Water. Intergovernmental Panel Climate Change. 2008.
- Jeremy G, Carter; Iain White, Juliet Richards. Environmental Impact Assessment Review. Sustainability Appraisal and Flood Risk Management. 2009. P. 7-14.
- Lahav, Ori, et al. Journal of Environmental Engineering. ASCE. Modeling Hydrogen Sulfide Emission Rates and Gravity Sewage Collection Systems. 2004.
- López Cualla, Ricardo Alfredo. Elementos de Diseño de Acueductos y Alcantarillados. 2ª edición. Bogotá. 2003. 388 p.
- Manual on Sewerage and Sewage Treatment. The Government of India. New Delhi. 2 ed. 1993. 614 p.
- Marbello, R.; Cárdenas, M. Precisión y corrección a la ecuación de diseño de cunetas triangulares urbanas de aguas lluvias, establecida en normas de diseño colombianas. XIX Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología. 2011.
- Materón, Hernán. Obras Hidráulicas Rurales. Universidad del Valle. 4 edición. Colombia. 1991. 64 p.
- Mays, Larry. Stormwater Collection Systems Design Handbook. McGraw-Hill. Arizona. 2004. 1017 p.
- Mc.Ghee, Terence. Water Supply and Sewerage. McGraw-Hill, Inc. 6 edición. New York. 1991.
- Metcalf & Eddy, Inc. Wastewater Engineering. Treatment and Reuse. Cuarta edición. McGrawHill. Singapore. 2004.
- Nasello, C.; Tucciarelli, T. Journal of Hydraulic Engineering. ASCE. Dual Multilevel Urban Drainage Model. Sep. 2005.
- Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente. NSR-98. Ley 400 de 1997 y Decreto 33 de 1998.
- Normas para Redes de Saneamiento. Canal Isabel II. NRSCYII, 2006.
- Normas Técnicas para Diseño de Alcantarillado. Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga. 2000.
- Organización Panamericana de la Salud (OPS). Emergencias y desastres en sistemas de agua potable y saneamiento: Guía para una respuesta eficaz.
- Organización Panamericana de la Salud (OPS). Guías para el Diseño de Tecnologías de Alcantarillado. POS/CEPIS. Lima. 2005.
- Organización Panamericana de la Salud (OPS). Operación y Mantenimiento de Sistemas de Alcantarillado Sanitario en el Medio Rural. POS/CEPIS. Lima. 2005.
- Queensland Urban Drainage Manual. Queensland Government. Natural Resources and Water. Volumen 1. Second Edition. 2007.
- Read, Geoffrey. Sewers-Rehabilitation and New Construction. Repair and Renovation. Oxford. 1997. 433 p.
- Rodger, C., Petch, J. Uncertainty and Risk Analysis a practical guide from bussiness dynamics. PriceWaterHouse Coopers. April 1999.
- Secretaria del Medio Ambiente. Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación. Dirección de Hidrología y suelo. Estudio para la Ubicación, Instalación y Operación de la Red Automática de Monitoreo de Aguas Residuales del Distrito Federal (RAMAGUA). México.
- Sewer Design Manual. City of Anaheim. 2006.
- Shehab, Tariq. Moselhi, Osama. Journal of Infrastructure Systems. ASCE. Automated Detection and Classification of Infiltration in Sewer Pipes. Sep. 2005.
- Silva G, Luis Felipe. Diseño de Acueductos y Alcantarillados. 2 edición. Colombia.
- Sistema Intermunicipal para los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado - SIAPA. Criterios Básicos de Diseño. Guadalajara. 2004.

RAS. Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales Domésticas y Aguas Lluvias

Stafford County Utilities. Water and Sewer Design And Construction Standards. Virginia. 2006.

Tchobanoglous, George. Metcalf & Eddy, Inc. Wastewater Engineering. Collection and Pumping of Waster. McGrawHill. United States of America. 1981.

UNESCO. Water Resources Systems Planning and Management. Capítulo 13.

United States Environmental Protection Agency - EPA. Collection Systems Technology Fact Sheet. Sewers, Conventional Gravity. Washington DC. Septiembre 2002

United states Environmental Protection Agency - EPA. Folleto Informativo de Operación y Mantenimiento del Alcantarillado. Limpieza e Inspección de Tuberías. Washington DC. Septiembre 1999.

United states Environmental Protection Agency - EPA. Storm Water O&M Fact Sheet. Preventive Maintenance. Washington DC. Septiembre 1999.

Wanielista, Martín; Yousef, Yousef. Stormwater Management. New York. 1993.

Wanielista, Martín. Hydrology: Water Quantity and Quality Control. Groundwater Hydrology. Stormwater Management. 1997

Walski. Thomas, et al. Wastewater Collection System Modeling and Design. Bentley. Institute Press. U.S.A.

Wong, T. Discussion of "Explicit solutions of the Manning equation for partially filled circular pipes" Can. J. Civ. Eng. 33: 349–350 (2006)